



Rapport quadriennal

2008 - 2012

Institut Fresnel

UMR 6133



*Institut Fresnel - Domaine Universitaire de Saint-Jérôme - Avenue Escadrille Normandie-Niemen
13397 Marseille cedex 20 FRANCE*

Tél : 33 (0)4 91 28 83 28 Fax 33 (0)4 91 28 80 67 fresnel@fresnel.fr <http://www.fresnel.fr>

TABLE DES MATIERES

BILAN GENERAL DE L'UNITE	7
<i>PRESENTATION SYNTHETIQUE DE L'UNITE</i>	7
<i>PRESENTATION SUCCINCTE DES EQUIPES</i>	10
<i>GOUVERNANCE.....</i>	11
<i>CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT.....</i>	13
<i>OBJECTIFS PRINCIPAUX DU QUADRIENNAL.....</i>	16
<i>STRATEGIE.....</i>	17
<i>REALISATION DES OBJECTIFS ET RESULTATS MARQUANTS.....</i>	20
BILAN SCIENTIFIQUE CLARTÉ.....	35
<i>PRESENTATION GENERALE</i>	36
<i>PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....</i>	45
<i>RECETTES</i>	45
<i>COLLABORATIONS.....</i>	49
<i>RAYONNEMENT</i>	50
<i>ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF</i>	51
<i>HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES</i>	52
<i>THESES</i>	53
AUTOEVALUATION DE CLARTE	55
PROJET CLARTE.....	57
BILAN SCIENTIFIQUE GSM	61
<i>PRESENTATION GENERALE</i>	62
<i>RESULTATS MARQUANTS.....</i>	63
<i>CONCLUSION.....</i>	69
<i>PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....</i>	70
<i>RECETTES</i>	71
<i>COLLABORATIONS.....</i>	73
<i>RAYONNEMENT</i>	74
<i>ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF</i>	75
<i>HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES</i>	79
<i>THESES</i>	79
AUTOEVALUATION DE GSM	81
PROJET GSM	83
BILAN SCIENTIFIQUE MAP2	87
<i>PRESENTATION GENERALE</i>	88
<i>RESULTATS MARQUANTS.....</i>	90
<i>CONCLUSION.....</i>	94
<i>PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....</i>	95
<i>RECETTES</i>	95
<i>COLLABORATIONS.....</i>	99
<i>RAYONNEMENT</i>	99
<i>ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF</i>	101
<i>HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES</i>	104
<i>THESES</i>	104
AUTOEVALUATION DE MAP2	107
PROJET MAP2.....	109
BILAN SCIENTIFIQUE MOSAIC.....	115
<i>PRESENTATION GENERALE</i>	116
<i>RESULTATS MARQUANTS.....</i>	117

CONCLUSION.....	122
PRODUCTION SCIENTIFIQUE	123
RECETTES	123
COLLABORATIONS.....	127
RAYONNEMENT	127
ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF	128
HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES	129
THESES	129
AUTOEVALUATION DE MOSAIC	131
PROJET MOSAIC	133
LES CHANTIERS SCIENTIFIQUES	133
LES SUJETS BIOLOGIQUES.....	135
BILAN SCIENTIFIQUE PHYTI	139
PRESENTATION GENERALE	140
RESULTATS MARQUANTS.....	141
CONCLUSION.....	145
PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	146
RECETTES	146
COLLABORATIONS.....	149
RAYONNEMENT	151
ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF	152
HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES	152
THESES	152
AUTOEVALUATION DE L'EQUIPE PHYTI.....	155
PROJET PHYTI.....	157
BILAN SCIENTIFIQUE RCMO	161
PRESENTATION GENERALE	162
RESULTATS MARQUANTS.....	163
CONCLUSION.....	166
PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	166
RECETTES	167
COLLABORATIONS.....	169
RAYONNEMENT	170
ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF	170
HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES	171
THESES	171
AUTOEVALUATION DE RCMO	173
PROJET RCMO	175
BILAN SEMO.....	179
PRESENTATION GENERALE	180
RESULTATS MARQUANTS.....	180
CONCLUSION.....	186
PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	187
RECETTES	187
COLLABORATIONS.....	191
RAYONNEMENT	191
ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF	192
HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES	193
THESES	193
AUTOEVALUATION DE SEMO.....	195
PROJET SEMO.....	197

BILAN QUANTITATIF DE SEMO A PARTIR DE 2008	197
RECETTES	198
IMAGERIE OPTIQUE QUANTITATIVE	199
IMAGERIE SANS LENTILLE DANS LE DOMAINE DES RAYONS X	200
INTERACTION D'UNE ONDE AVEC DES SURFACES RUGUEUSES, IMAGERIE OPTIQUE ET TELEDETECTION OCEANIQUE.....	201
INTERACTION D'UN PULSE ELECTROMAGNETIQUE AVEC UNE STRUCTURE COMPLEXE. FORCES ET IMAGERIE EN REGIME TRANSITOIRE	202
PROJET DE HIPE.....	205
BILAN QUANTITATIF DU GROUPE	205
RECETTES	206
OUTILS NUMERIQUES DE MODELISATION ET D'IMAGERIE	207
MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN GEOMETRIE COMPLETE	208
MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN GEOMETRIE CYLINDRIQUE	209
MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN ASPECT LIMITE	209
CARACTERISATION DE LIQUIDES EN FLUX DYNAMIQUES	210
CONCLUSION.....	210
AUTOEVALUATION DE L'UNITE	211
PROJET DE L'UNITE	215
OBJECTIFS SCIENTIFIQUES.....	215
LIEN AVEC LES FORMATIONS	217
GRAND EMPRUNT	218
CARNOT.....	219
ORGANISATION INTERNE.....	220
CONCLUSION.....	220

BILAN GENERAL DE L'UNITE

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE L'UNITE

L'Institut Fresnel, créé le 1^{er} janvier 2000, est une Unité Mixte de Recherche (UMR 6133) dont les tutelles sont l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3 (tutelle principale), le CNRS, l'Ecole Centrale de Marseille (ECM) et l'Université de Provence (UP).

Les domaines d'expertise du laboratoire sont l'optique-photonique, l'électromagnétisme et le traitement des images et des signaux. Le lien très étroit entre ces domaines qui comprennent à la fois des aspects théoriques et expérimentaux, donne sa cohésion au laboratoire.

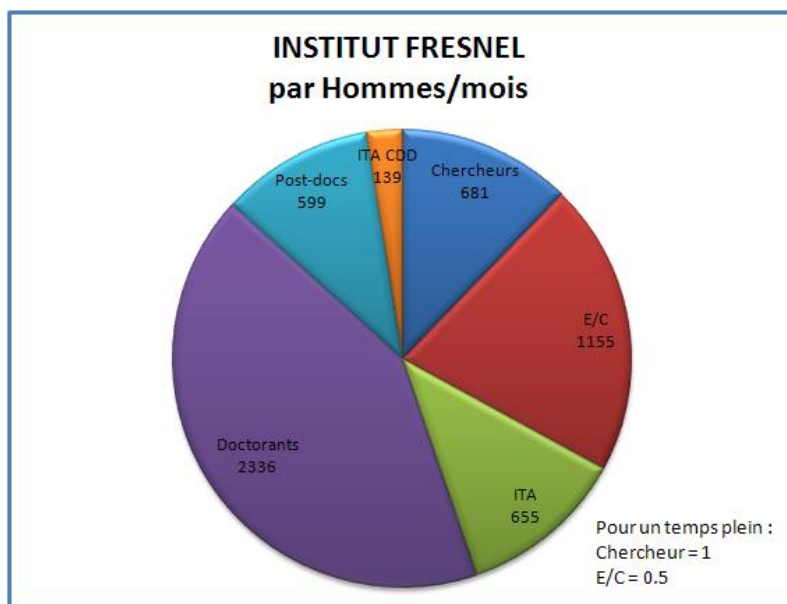
La ligne directrice des recherches menées à l'Institut Fresnel s'étend ainsi de l'interaction entre les ondes et la matière ou les objets, au traitement numérique des données, en passant par la réalisation de certains composants. Les activités du laboratoire vont donc "du photon (ou de l'onde), jusqu'au bit", dans le but de répondre à la fois à des questions fondamentales et à des problèmes pratiques dans différents domaines.

Le laboratoire est structuré en 7 équipes de recherche (8 proposées pour le prochain quadriennal). Les effectifs du personnel permanent du laboratoire, classés par tutelle et par statut, sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

	CNRS	ECM	U3	U1	Total
Chercheurs	14				14
Ens. Cher.		20	15	9	44
ITA IATOS	8	1	4	0	13
Total	22	21	19	9	71

A cet effectif, s'ajoutent à ce jour, 39 doctorants (60 prévus au 01.09.10) ainsi que 11 post-doctorants et personnels contractuels.

Le récapitulatif de l'effectif de l'unité en Hommes/mois sur la période 1er janvier 2006 - 30 juin 2010 est donné par :

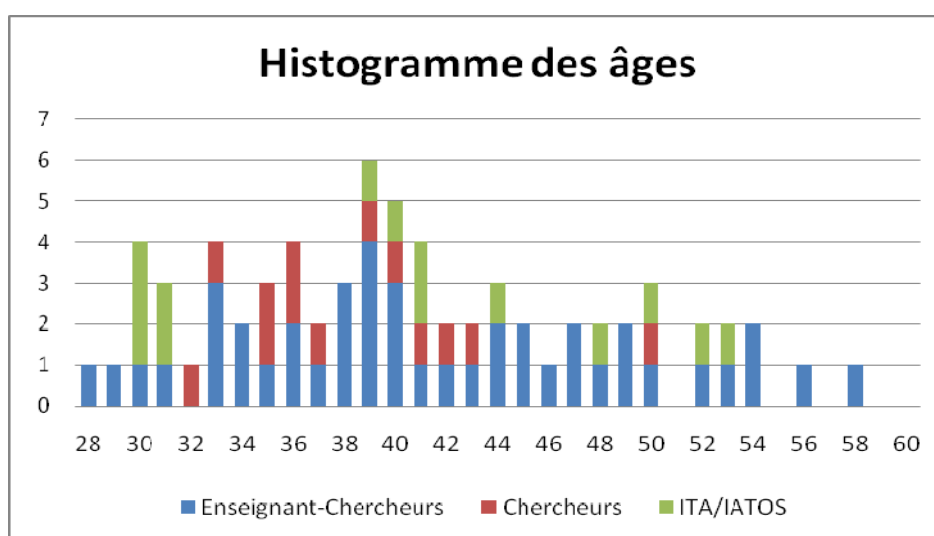


681 Hommes/mois ETP de chercheurs et 1155 Hommes/mois ETP d'enseignants chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 153 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 34 ETPR par an en moyenne.

La lecture de ce tableau indique la part importante des doctorants dans l'effectif du laboratoire malgré les difficultés mentionnées plus bas concernant le recrutement des doctorants. L'effectif contractuel (post docs, CDD ITA) est en augmentation d'environ 50% par rapport au quadriennal précédent.

Pour toute évaluation quantitative générale du laboratoire, les moyens humains en termes de chercheurs et d'enseignants chercheurs de l'Institut Fresnel pendant la période prise en compte pour l'évaluation (4,5 ans) sont de 153 Equivalent Temps Plein Recherche (ETPR), ce qui correspond à une moyenne de 34 ETPR/an.

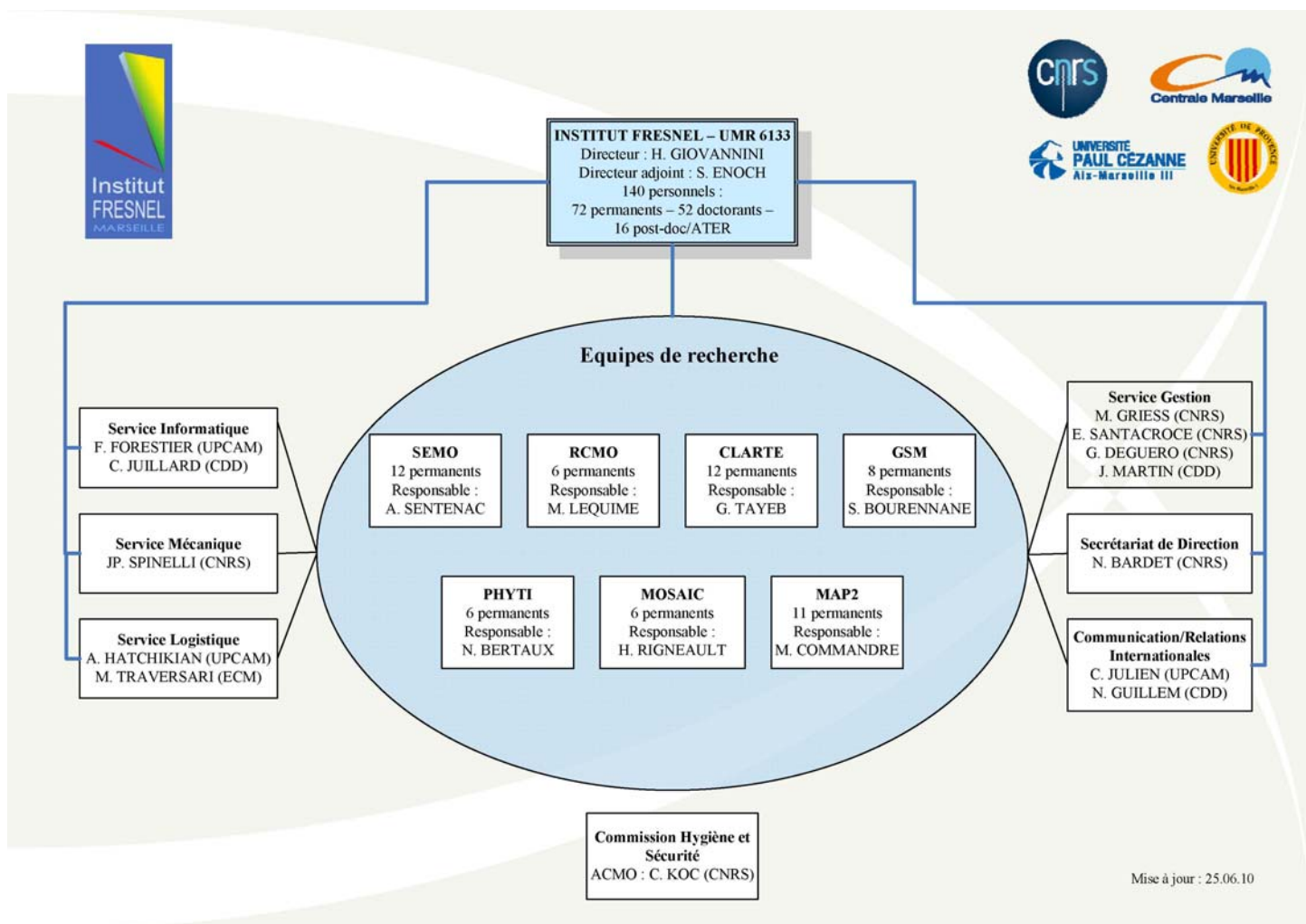
■ HISTOGRAMME PERSONNEL/CATEGORIE/AGE



Ce tableau indique que la pyramide des âges est centrée sur 40 ans et que le personnel permanent de l'Institut Fresnel a une moyenne d'âge de 41 ans.

La structuration en équipes a été adoptée dès la création du laboratoire suivant des critères liés aux domaines de recherche. Les contours et les effectifs des équipes ont changé depuis lors et la structuration du laboratoire est en cours d'évolution pour intégrer de manière plus marquée les aspects liés aux thématiques.

■ ORGANIGRAMME DE L'UNITE



PRESENTATION SUCCINCTE DES EQUIPES

Les 7 équipes de recherche sont les suivantes :

- ✦ **CLARTE** (Contrôle de la Lumière et Analyse du Rayonnement : Traitement Electromagnétique - 13 permanents) - Responsable Gérard Tayeb

Thèmes de recherche principaux :

- Cristaux photoniques et métamatériaux
- Fibres optiques microstructurées,
- Plasmonique.

- ✦ **GSM** (Groupe Signaux Multidimensionnels - 8 permanents) - Responsable Salah Bourennane

Développements théoriques et applications de méthodes de traitement de données multidimensionnelles, favorisées par l'émergence de nouveaux capteurs (multi-spectraux, multi-temporels...).

- ✦ **MAP2** (Milieux Aléatoires et Photonique de Puissance - 11 permanents) - Responsable Mireille Commandré

L'équipe MAP2 développe des approches à la fois théoriques (électromagnétisme, multiphysique) et expérimentales (instrumentation, métrologie) de la diffusion de la lumière dans les milieux complexes et de l'interaction laser matière aux forts flux. Les applications relèvent de la photonique, des capteurs avec des ouvertures récentes vers l'imagerie et le biomédical.

- ✦ **MOSAIC** (Biophotonique - 6 permanents) - Responsable Hervé Rigneault.

Cette équipe effectue ses recherches en Biophotonique, c'est-à-dire dans l'étude de problématiques relevant des sciences du vivant (Biologie, Santé) et utilisant des méthodes, outils et techniques relevant de l'optique et de la photonique.

- ✦ **PHYTI** (Physique et Traitement de l'Image - 6 permanents) - Responsable Nicolas Bertaux

L'équipe PHYTI développe des techniques statistiques de traitement d'image en relation étroite avec l'optronique et la physique de l'image. Notre domaine d'action concerne donc le traitement numérique des images et l'étude de nouveaux systèmes d'imagerie optronique.

- ✦ **RCMO** (Recherche en matériaux, technologies, et composants de Couches Minces Optiques - 6 permanents) - Responsable Michel Lequime.

Les activités de cette Equipe de recherche s'inscrivent dans le champ du filtrage optique interférentiel et s'organisent autour de 4 grandes thématiques : Modélisation, Matériaux, Technologies et Composants.

- ✦ **SEMO** (Sondage Electromagnétique et Optique - 12 permanents) - Responsable Anne Sentenac.

Les thèmes de recherche de l'équipe SEMO concernent l'utilisation des ondes électromagnétiques, en particulier dans les domaines optique et hyperfréquences, pour détecter, localiser, caractériser des objets ou des milieux à distance à partir de l'analyse des propriétés des ondes renvoyées par les cibles.

GOUVERNANCE

■ DIRECTION

Le laboratoire est dirigé par un directeur (Hugues Giovannini depuis le 1^{er} janvier 2008 - Claude Amra pendant les deux quadriennaux précédents) assisté d'un directeur adjoint (Stefan Enoch depuis le 1^{er} janvier 2008).

■ CONSEIL DE LABORATOIRE

Conformément au règlement intérieur de l'unité, le conseil de laboratoire est constitué pour une durée de deux ans. Il est composé de membres élus, de membres de droit et de membres nommés. La durée du mandat des membres du conseil de laboratoire est de deux ans.

- Le directeur de l'unité est membre de droit, ainsi que le directeur adjoint.
- 9 membres sont élus (2 représentants du collège A et 4 représentants du collège B, 1 représentant du collège des doctorants, 2 représentants du collège ITA/IATOS),
- 7 membres sont nommés par le Directeur de l'Unité (au cours de ce quadriennal les membres nommés ont été les responsables d'équipe ou leur représentant, désignés avant l'élection du Conseil de Laboratoire).

Conformément aux textes officiels, le Conseil du Laboratoire est consulté sur :

- l'état, le programme, la coordination des recherches, la composition des équipes ;
- les moyens budgétaires à demander par l'unité et la répartition de ceux qui lui sont alloués ;
- la politique des contrats de recherche concernant l'unité ;
- la politique de transfert de technologie et la diffusion de l'information scientifique de l'unité ;
- la gestion des ressources humaines ;
- la politique de formation par la recherche ;
- les conséquences à tirer de l'avis formulé par la ou les sections du Comité national de la recherche scientifique dont relève l'unité ;

- le programme de formation en cours et pour l'année à venir ;
- toutes mesures relatives à l'organisation et au fonctionnement de l'unité et susceptibles d'avoir une incidence sur la situation et les conditions de travail du personnel.

La fréquence des réunions du Conseil de Laboratoire est d'environ 8 fois par an.

Le Conseil de Laboratoire est également consulté sur d'autres questions qui concernent la vie de l'unité (règlement intérieur, charte informatique, accueil des nouveaux entrants...). Outre sa fonction statutaire, il joue donc aussi le rôle d'instance de discussion.

■ ASSEMBLEE DES RESPONSABLES D'EQUIPE

Cette assemblée est réunie environ une fois par mois (avec, chaque fois, la possibilité pour chaque responsables d'équipe, de se faire représenter par la personne de son choix) pour toutes les questions concernant la répartition des moyens financiers et humains entre les équipes, pour la gestion des locaux, pour des questions liées à la politique scientifique, pour débattre des perspectives du laboratoire et de toutes les questions qui relèvent plus précisément des équipes. Elle constitue une assemblée opérationnelle qui, en particulier, est réunie préalablement au Conseil de Laboratoire pour préparer les dossiers qui y sont examinés.

■ ASSEMBLEE GENERALE

Une assemblée générale est organisée 2 à 3 fois par an pour transmettre des informations au personnel sur les orientations et la situation du laboratoire ou pour débattre de points particuliers. Le budget de l'année écoulée, en particulier pour ce qui concerne l'utilisation des crédits gérés par la direction permettant entre autres d'assurer le fonctionnement des moyens communs de l'unité (bâtiment, frais de fonctionnement de l'administration, frais de la direction, organisation de manifestations, frais de communication...), est présenté chaque année en assemblée générale. Ce budget est ensuite soumis à l'avis du Conseil de Laboratoire. Les documents correspondants sont ensuite placés sur le site intranet du laboratoire.

■ DIFFUSION DES DOCUMENTS ET DES COMPTES-RENDUS

Les comptes-rendus des réunions des responsables d'équipe et du Conseil de Laboratoire sont mis à la disposition du personnel sur le site intranet du laboratoire.

■ COMMISSIONS

Les commissions Hygiène et Sécurité, Informatique et Animation Scientifique se réunissent régulièrement pour traiter des questions qui relèvent de leurs compétences respectives. Les éléments concernant plus spécifiquement l'Hygiène et la Sécurité figurent en annexe.

CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT

Le développement du laboratoire est étroitement lié au contexte académique, industriel et économique dans lequel il se trouve. Ceci aux niveaux régional, national et international.

■ REGIONAL

L'Institut Fresnel, qui est hébergé dans les locaux du Campus de St Jérôme de l'Université Paul Cézanne à Marseille, bénéficie d'un contexte régional favorable au développement de ses activités de recherche académique et partenariale. Ceci grâce à la fois à l'existence d'un tissu industriel en relation avec ses domaines d'expertise, à la présence de laboratoires dont les activités de recherche sont en lien avec celles de l'Institut Fresnel et à l'existence de formations en optique/photonique, électromagnétisme, traitement des images et des signaux dans lesquelles les chercheurs et les enseignants chercheurs du laboratoire sont fortement impliqués. La présence de trois universités avec des formations en sciences dures, à la fois fondamentales et appliquées, et de l'École Centrale de Marseille, est un élément central du développement du laboratoire.

⊕ *Pôle de compétitivité - OPTITEC-POP Sud*

L'existence du pôle de compétitivité, à la création duquel l'Institut Fresnel a joué un rôle important, est un facteur favorable au développement des relations entre le laboratoire et le tissu industriel local essentiellement constitué de PME qui ont une forte activité de Recherche et Développement. Dans la région PACA étendue au Languedoc-Roussillon, les activités en photonique représentent : 20% des activités françaises de R&D en photonique, 12.363 emplois qualifiés dont 5000 chercheurs en R&D, pour un PIB régional de 900 M€.

Nous reprendrons ici quelques éléments du document de présentation du pôle :

"Le sud de la France (Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées) est l'une des régions européennes les plus riches dans ce domaine et offre un large éventail de compétences: depuis le micro-composant optique au traitement d'images, de la source de lumière au détecteur, de la transmission de données par fibres optiques aux lasers, de la lunetterie à l'instrumentation optique complexe, des télécommunications au spatial ou au médical."

De par sa place privilégiée en tant que plus gros laboratoire académique effectuant l'ensemble de ses activités de recherche dans les domaines de compétence du pôle, l'Institut Fresnel est fortement impliqué dans les activités de celui-ci. Ceci se matérialise par une participation à son fonctionnement (plusieurs membres du laboratoire siègent au Conseil d'Administration et au Conseil Stratégique), par la labellisation par celui-ci de nombreux projets portés par le laboratoire, par des relations étroites avec des partenaires adhérents de POP Sud, par un travail conjoint pour le montage de projets (FUI, OSEO pour la création d'entreprises, projets européens...).

✦ *GIS Photonique et Instrumentation Avancée (GIS PIA)*

Plusieurs laboratoires effectuent dans le périmètre marseillais des recherches liées au domaine de la photonique. Cet état de fait et les relations qu'entretiennent ces laboratoires depuis de nombreuses années a conduit, en octobre 2005, à la création du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) "Photonique et Instrumentation Avancée" (PIA). Nous reprendrons ici aussi quelques éléments du document de présentation du GIS PIA :

"Le GIS PIA est riche d'un vivier de trois cents personnes, et ses projets scientifiques sont centrés autour de la conception et l'étude de nouvelles fonctions optiques, de nouveaux procédés photoniques, la fabrication et le test de nouveaux composants, et l'instrumentation avancée.

Cette initiative, qui vise à promouvoir les efforts de la recherche fondamentale et appliquée dans le domaine, est soutenue par le CNRS, les Universités de la Méditerranée, Paul Cézanne, et de Provence, et l'Ecole Centrale de Marseille. Elle s'inscrit dans une démarche coordonnée et complémentaire à celle du Pôle de Compétitivité "Systèmes Complexes d'Optique et d'Imagerie" où les trois laboratoires ont une implication forte."

De ce GIS, constitué initialement du LAM (UMR 6110), du LP3 (UMR 6182) et de l'Institut Fresnel, sont nés plusieurs projets FEDER, ANR entre autres et la constitution de plateformes expérimentales communes. D'ici fin 2010, le CEA Cadarache (groupe IRFM), le laboratoire de Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires (PIIM – UMR 6633) et le Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM – UMR 6550) rejoindront le GIS PIA.

✦ *C'Nano PACA*

L'Institut Fresnel participe, depuis sa création, aux activités du C'Nano PACA. Les nanotechnologies sont en effet un domaine de recherche important de l'Institut Fresnel qu'il est possible d'identifier dans différentes thématiques du laboratoire.

✦ *Formations*

L'offre de formation au niveau Master dans les domaines de compétence du laboratoire s'appuyait, en début de quadriennal, sur le Master Recherche OTI (Mention Physique, spécialité Optique et Traitement des Images – co-habilité par l'université Paul Cézanne, par l'université de Provence et par l'Ecole Centrale de Marseille) et sur les parcours d'approfondissement "Optique et Photonique" et "Ingénierie des signaux et des images" de l'Ecole Centrale de Marseille. Ces formations ont évolué au cours du quadriennal, notamment par la refonte du programme d'enseignement du Master OTI, devenu Master "Optique Signal et Image" (OPSI) qui est maintenant également co-habilité par l'université de la méditerranée et dont le parcours européen Europhotonics a obtenu en 2009 le label Erasmus Mundus de la Communauté Européenne.

■ NATIONAL

Au niveau national, l'Institut Fresnel est l'un des plus gros laboratoires de recherche, en termes de personnel et de volume d'activités, dans les domaines de la Photonique,

de l'Electromagnétisme, du Signal et des Images - domaines de recherche dans lesquels la France a une reconnaissance de tout premier rang au niveau mondial. La spécificité des activités et du savoir-faire de l'Institut Fresnel fait que sur la plupart des thèmes de recherche, il existe une complémentarité entre l'Institut Fresnel et les autres laboratoires du même type en France (Laboratoire Charles Fabry de Institut d'Optique, XLIM, Femto-St). Cet aspect est bien illustré par les nombreuses collaborations et partenariats développés avec les autres acteurs académiques au niveau national.

■ INTERNATIONAL

Au niveau international, parmi les instituts ou laboratoires de recherche comparables à l'Institut Fresnel en termes de domaines d'étude et de taille, on peut mentionner l'ICFO (Institut de Ciències Fotoniques) de Barcelone, la Karlsruhe School of Optics (KSOP) ou l'Institute of Optics de Rochester qui sont tous les trois considérés comme des centres d'excellence au meilleur niveau mondial.

L'exemple de l'ICFO nous semble particulièrement pertinent car il s'agit d'un institut d'âge similaire (créé en 2002) focalisé sur des thématiques proches (photonique) et dont la taille est elle aussi proche (environ 170 personnes). Pour autant, de nombreuses différences sont à noter : l'ICFO est une création *ex nihilo* tandis que l'Institut Fresnel est né d'un regroupement de laboratoires dont certains avaient déjà une histoire riche. Par ailleurs, l'ICFO est structuré sur le modèle anglo-saxon (un permanent par équipe) ce qui explique le très faible nombre de permanents selon nos normes (19 responsables de groupes plus les ingénieurs - 14 - et administratifs - environ 40). L'ICFO est structuré en quatre thèmes: biophotonique, optique quantique, optique non linéaire et nanophotonique et dix-neuf groupes, chaque groupe pouvant être sur plusieurs thématiques. Le recouvrement thématique avec l'Institut Fresnel est relativement faible, essentiellement dans les domaines de la nanophotonique et de la biophotonique. En réalité les deux instituts sont très complémentaires ce qui se traduit par un nombre de collaborations qui augmente fortement (entre autre au travers de projets européens et du programme Erasmus Mundus).

L'Institute of Optics de Rochester est, lui, riche de ses 75 ans d'existence. Il s'agit à la fois d'une structure de formation (undergraduate jusqu'à PhD) et de recherche. Il comprend environ une quarantaine de professeurs et chercheurs et 80 doctorants. Par ailleurs, la palette des thèmes couvre un large spectre de l'imagerie à l'optoélectronique en passant par les fibres optiques, l'optique non-linéaire...

Outre les différences, liées à l'âge des structures, la culture des pays ou les volontés des acteurs locaux nous pouvons remarquer que ces instituts sont peu ou prou de dimension similaire, ce qui tend à indiquer que le modèle au niveau international des Instituts les plus reconnus dans le domaine de photonique se situe dans cet ordre de grandeur.

OBJECTIFS PRINCIPAUX DU QUADRIENNAL

Le bilan du quadriennal précédent avait mis en évidence entre autres une forte croissance du nombre de publications, une consolidation des équipes par une reconnaissance accrue de leurs activités au niveau international, ainsi qu'une augmentation notable du budget. Pour que l'Institut Fresnel atteigne sa pleine maturité et pour que son développement se poursuive, plusieurs dossiers avaient été identifiés comme prioritaires à la fin du quadriennal précédent.

■ SITE UNIQUE

Depuis sa création, l'Institut Fresnel était hébergé sur deux sites situés dans le campus de St Jérôme : les anciens locaux de l'EGIM (devenue Ecole Centrale Marseille) et un étage de l'aile un du bâtiment principal de la Faculté des Sciences. Cette séparation était un frein au fonctionnement et au développement des activités du laboratoire, car elle rendait plus complexe le fonctionnement administratif, plus difficiles la bonne communication entre les chercheurs, la création de synergies entre les équipes et l'échange de compétences. Le déménagement des deux équipes (CLARTE et SEMO) hébergées dans les locaux de la Faculté des Sciences et donc le regroupement de tout le laboratoire sur un site unique ne pouvait se faire qu'à condition de réaménager pour des activités de recherche, deux étages du bâtiment laissé libre par l'EGIM en 2005.

Une demande de financement FEDER avait été faite en ce sens en 2005 pour doubler le budget obtenu pour la rénovation (440k€ : CNRS + UPCAM + UP + ville de Marseille). L'échec de cette demande avait conduit à retarder le début des travaux et à compléter le budget initial avec un autofinancement important du laboratoire pour cette opération.

■ ESPACE PHOTONIQUE

Les besoins identifiés à moyen terme de locaux, en particulier pour les activités technologiques, avaient conduit à inscrire une demande de financement dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région (CPER) 2007-2013 pour l'aménagement d'un "Espace Photonique". Dans ce cadre, un premier dossier avait été établi pour prévoir le réaménagement (pour une surface d'environ 600 m²) d'un atelier situé en face du bâtiment de l'Institut Fresnel en salles propres destinées à l'activité technologique sur les couches minces et à d'autres expérimentations du laboratoire désormais à l'étroit dans le bâtiment principal. Pour que l'activité technologique du laboratoire puisse être conduite avec du matériel à l'état de l'art permettant de réaliser des composants aux performances au moins comparables à celles d'autres structures - notamment industrielles - un financement pour des équipements de dernière génération (bâti d'évaporation, dispositifs de nettoyage et de contrôle) avait également été prévu. A la fin du quadriennal précédent, cette opération avait été identifiée comme indispensable pour la poursuite des activités couches minces dans le visible et le

proche infrarouge dans lesquelles l'Institut Fresnel est un acteur principal au niveau national et au-delà.

■ DEVELOPPEMENT DES FILIERES D'ENSEIGNEMENT EN PHOTONIQUE

Un des points faibles et une menace identifiés lors du quadriennal précédent était le faible nombre d'étudiants de deuxième cycle dans des filières de spécialisation dans les domaines de recherche du laboratoire. Au-delà de la nécessité d'avoir un lien étroit entre les activités de recherche et d'enseignement – ce qui constitue une des missions essentielles d'une UMR - il était capital de travailler sur cet aspect. En effet un tel déficit pouvait mettre en péril les recrutements d'enseignants chercheurs à venir et risquait d'obérer le recrutement de doctorants. Pour résoudre ce problème, un des objectifs identifiés en 2006 pour le quadriennal suivant était d'innover en matière d'enseignement en montant de nouvelles filières. Ceci dans le but de consolider et de dynamiser les filières existantes en leur donnant par exemple une dimension internationale et un lien fort avec le monde socio-économique.

STRATEGIE

■ RESSOURCES HUMAINES

Pour ce qui est des ressources humaines, l'Institut Fresnel a eu, depuis sa création, une politique visant à ne demander des postes permanents qu'en regard de besoins réels et d'objectifs clairs discutés au préalable dans les instances du laboratoire. Ceci dans le souci de garantir une croissance contrôlée de l'unité en tenant compte des équilibres entre les thématiques et les équipes et au regard des possibilités de financement ainsi que du nombre de bourses de thèse accessibles. La croissance de l'effectif n'étant en effet pas un objectif en soi pour une UMR. Cette politique, qui a été poursuivie lors de ce quadriennal, ajoutée au faible nombre de postes offerts par les différentes tutelles, a fait que le nombre de postes permanents est resté, à quelques unités près, le même qu'en 2006. Les nouveaux entrants comblant à peu près les départs. Le fléchage des postes d'enseignants chercheurs ayant été fait après une analyse fine des besoins des équipes et du développement des thématiques.

Concernant les thèses, compte tenu de la baisse des effectifs des étudiants en sciences dans les formations locales, un gros effort d'information a été réalisé au travers de forums et en s'appuyant sur les relations avec les partenaires universitaires français ou étrangers du laboratoire. Ceci a conduit à diversifier les types de bourses de thèses en accroissant *in fine* leur nombre, tout en diversifiant l'origine des candidats. Cette politique a porté ses effets puisque le nombre de doctorants recrutés par an à l'Institut Fresnel est passé de 13 en 2006 à 19 en 2009.

Le mode de financement de la recherche mis en place au niveau national a eu une répercussion sur le nombre d'emplois contractuels (hors doctorants) qui a fortement crû au cours du quadriennal (7 en 2006 contre 14 à ce jour). Cette situation a conduit

le laboratoire à devoir intégrer ce personnel non permanent tout en lui offrant des conditions propices à l'obtention d'une situation stable à la fin du contrat.

■ POLITIQUE D'UTILISATION DES CREDITS

Dans une UMR comme l'Institut Fresnel, on distingue les dotations versées par les tutelles directement au laboratoire (dotation annuelle et crédits pour les infrastructures) et les crédits obtenus par les chercheurs pour leurs projets de recherche.

En continuité avec le mode de fonctionnement adopté lors des deux quadriennaux précédents, une politique d'utilisation des dotations annuelles (environ 250 k€/an) visant à en verser une partie aux équipes au prorata du nombre de chercheurs et d'enseignants chercheurs, après un prélèvement pour le fonctionnement des services communs et du laboratoire en général, a été poursuivie. Ceci avec toutefois des ajustements en fonction de l'évolution de la situation financière essentiellement due à des facteurs qui ne sont pas en lien direct avec la recherche. En particulier, l'augmentation des frais de fonctionnement liée à l'entretien du bâtiment, à la réalisation de travaux pour la fin de son aménagement et à l'embauche de personnels contractuels en appui des services administratifs, a conduit à augmenter très fortement le montant du prélèvement au cours de ce quadriennal (127 k€ en 2009 contre 40 k€ en 2006). On peut signaler à ce titre que le regroupement du laboratoire sur un site unique n'a pu être réalisé qu'au prix d'un effort financier important du laboratoire sur ses crédits propres. C'est ainsi qu'une somme d'environ 150k€ a été consacrée en 2008 pour la réalisation de travaux d'aménagement du bâtiment dans le cadre de cette opération. Cet effort financier, ainsi qu'un prélèvement des reliquats des crédits du laboratoire d'un montant de 350 k€ opéré en 2008 par la tutelle principale, ont eu un impact important sur la réalisation des budgets 2008 et 2009.

La diminution des dotations annuelles pouvant être versées aux équipes, consécutive à un transfert de certaines charges vers le laboratoire (embauches de personnel temporaire lors des congés maternité ou maladie ou plus généralement pour compenser la diminution des effectifs ITA et IATOS, entretien des locaux...) est une tendance générale dans la recherche nationale. L'Institut Fresnel a été contraint de s'y adapter.

Avant 2006, un prélèvement de 3% du montant des financements obtenus par les chercheurs était effectué par le laboratoire pour les frais généraux. Compte tenu de la complexité qu'entraînait ce mode de fonctionnement, notamment pour les justifications, le principe de ce prélèvement a été abandonné fin 2006.

En fonction de l'évolution de la situation budgétaire et de l'organisation du laboratoire, cette politique pourra être réexaminée dans les années à venir.

Pour conclure cette partie, on peut noter que les équipes de l'Institut Fresnel financent leurs activités de recherche essentiellement grâce à des subventions, contrats industriels, projets européens... Une analyse plus fine des origines des crédits est présentée, pour chaque équipe, dans la partie qui concerne le budget.

■ POLITIQUE SCIENTIFIQUE

La politique scientifique du laboratoire a été, depuis 2000, discutée entre la direction et les responsables d'équipe. L'objectif des deux premiers quadriennaux était que les équipes assoient progressivement leur place au niveau international dans leurs domaines d'expertise. Ce quadriennal aura vu les contours thématiques des équipes évoluer. Ceci est dû en partie aux développements importants des sujets de recherche nouveaux qui avaient été initiés lors du quadriennal précédent et qui ont justifié un effort humain et financier. Parallèlement à ces évolutions liées aux partenariats, aux finances et aux recrutements, le besoin est apparu au cours de ce quadriennal de prendre des décisions qui détermineront à moyen terme certaines orientations de recherche. Ces orientations, qui sont décrites plus loin dans le paragraphe "Ouverture vers de nouvelles thématiques", ont fait l'objet de concertations internes, en mêlant à la réflexion, en plus de la direction et des responsables d'équipe, des chercheurs de l'unité dont l'expérience et la vision scientifique sont reconnues.

Ce quadriennal, qui aura vu en avril 2008 le regroupement de tout le laboratoire dans un même bâtiment, aura également été marqué par un très fort accroissement des collaborations inter-équipes. Ceci est clairement montré par la forte augmentation des publications ainsi que par les contrats et projets communs. Ce résultat doit beaucoup aux initiatives qui ont été prises pour favoriser l'amalgame entre les équipes, augmenter les synergies et accroître les compétences. Parmi ces initiatives, on pourra noter :

- L'organisation à un rythme d'environ un par mois, de séminaires donnés par des chercheurs extérieurs au laboratoire proposés par les équipes et invités par le laboratoire.
- L'organisation une fois par an des journées des doctorants avec une participation de tout le personnel dans un lieu extérieur au laboratoire, au cours desquelles les doctorants exposent leurs projets de recherche. Cette initiative constitue un excellent outil de communication scientifique et de management.
- La tenue, au moins une fois par an de journées de séminaires donnés par des chercheurs permanents sur un thème particulier, baptisées "Interférences de Fresnel".

L'ensemble de ces initiatives fait l'objet d'un soutien financier prélevé sur la dotation annuelle du laboratoire.

■ COMMUNICATION ET LIENS AVEC LES FORMATIONS

Le fléchage en 2008 d'un personnel administratif sur les activités de "Service Communication et Relations Internationales" a permis de fournir les efforts nécessaires pour accroître la visibilité du laboratoire auprès des étudiants et auprès de la communauté scientifique nationale et internationale. Ce recrutement a également permis de mener un travail visant à proposer une nouvelle offre de formation dans les domaines de compétence du laboratoire, en donnant notamment

une dimension internationale au Master OPSI (Master Erasmus Mundus Europhotonics).

Pour conclure on pourra ajouter que l'Institut Fresnel, afin qu'il puisse jouer pleinement son rôle, a continué de s'impliquer, au travers de son personnel, dans le fonctionnement des instances de ses tutelles et de ses partenaires avec des membres du CNU, du comité national du CNRS, de la direction scientifique de l'INSIS du CNRS, des différents conseils scientifiques et d'UFR des tutelles, avec un responsable de la formation et un responsable de la recherche à l'Ecole Centrale Marseille, des membres des instances du pôle de compétitivité, dans différents commissions recherche, enseignement...

REALISATION DES OBJECTIFS ET RESULTATS MARQUANTS

■ REGROUPEMENT DE L'ENSEMBLE DU LABORATOIRE DANS UN MEME BATIMENT

Ce dossier, entamé lors du quadriennal précédent, a abouti grâce à différentes sources de financement comprenant entre autres une grosse part d'autofinancement du laboratoire, au démarrage en 2007 des travaux d'aménagement d'une partie du bâtiment principal de l'Institut Fresnel. Ceci en vue de regrouper tout le personnel sur le même site. Cette opération, d'un volume financier de 300 k€, s'est conclue en avril 2008 par le déménagement des équipes CLARTE et SEMO.

Comme attendu, ce regroupement a rapidement eu des conséquences positives pour le laboratoire. Il a en effet conduit à :

- Une augmentation des collaborations inter-équipes (ANR, publications communes, partage du matériel, échanges scientifiques accrus). Les données chiffrées sont données plus bas. On notera ici une augmentation de plus de 250% par rapport au quadriennal précédent (de 13 à 46) du nombre de publications communes à au moins 2 équipes du laboratoire.
- La constitution d'un service administratif unique pour toute l'unité qui a conduit à la mise en place de procédures plus efficaces et de règles permettant de faire évoluer de manière concertée l'organisation du laboratoire.
- Un accroissement des activités et des initiatives liées à l'animation scientifique et aux ressources humaines.

D'une manière générale, le regroupement de tout le laboratoire sur le même site a créé de nouvelles synergies, a permis un partage rationnel de moyens et a accru son unité et sa cohérence.

■ LIENS AVEC LES FILIERES D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE NIVEAU MASTER

⊕ *Europhotonics*

■ **Master**

L'Institut Fresnel a porté le dossier de Master européen Erasmus Mundus Europhotonics pour lequel l'Université Paul Cézanne est établissement principal avec comme partenaires les universités de Karlsruhe et de Barcelone. Ce dossier de

Master, qui est le parcours Européen du Master national OPSI, a été retenu par la communauté européenne en 2009 et ouvrira en octobre 2010. Il est prévu dans ce cadre que les étudiants (au minimum 13 étudiants de pays tiers et 8 étudiants européens par promotion) sélectionnés par une procédure très élitiste (300 candidats non européens pour 13 places pour la première édition) suivent deux semestres d'enseignement à Marseille pendant les deux années de cursus.

▪ **Doctorate**

La communauté européenne a également retenu le volet "Doctorate" d'Euromerics qui permettra de financer, pour tout le consortium, 10 thèses en co-tutelle par an avec la KSOP de Karlsruhe, le LENS de Florence et l'ICFO de Barcelone.

Il est à noter que les financements très élevés des programmes Erasmus Mundus (qui représentent plus de 2M€/an pour les deux volets Master et Doctorate de Euromerics) sont attribués par la Communauté Européenne suivant une procédure extrêmement sélective.

La réussite de ces dossiers, outre qu'elle montre une reconnaissance de la place de tout premier plan en Europe de l'Institut Fresnel parmi les laboratoires de recherche, donne une ouverture extrêmement importante à l'enseignement de Photonique à Marseille. Les programmes Master et Doctorate de Euromerics permettront de surcroît au laboratoire de recruter et de financer des doctorants de haut niveau.

⊕ *Master OPSI*

L'Institut Fresnel continue de porter le Master Recherche Optique Signal (OPSI) dont l'effectif est resté à peu près constant avec environ 15 élèves en moyenne par an. Depuis 2008 ce Master prévoit, outre les enseignements auparavant dispensés dans le Master OTI (intitulé du Master recherche dans son ancienne habilitation), des enseignements en Lasers et Procédés et d'Optique pour l'Instrumentation Astronomique dispensés par des membres de deux autres laboratoires du GIS PIA (LP3 et du LAM). Ceci a donné au Master une généralité et une ouverture vers l'ensemble des disciplines de recherche des laboratoires en Photonique dans le périmètre marseillais.

⊕ *Ecole Centrale de Marseille*

Les personnels de l'Institut Fresnel enseignants chercheurs à l'Ecole Centrale ont continué de porter les axes Image/Signal et Photonique de 3^{ème} année et sont impliqués dans la réforme des enseignements de cet établissement.

▪ **ESPACE PHOTONIQUE**

Le dossier de création de l'Espace Photonique a été poursuivi et est en passe d'aboutir. Les marchés sont ouverts pour les travaux d'aménagement d'un espace de 600 m² destinés à des salles en environnement contrôlé situé en face du bâtiment principal du laboratoire. Il est prévu que les travaux (montant : 2,54 M€) démarrent en 2011 pour s'achever au plus tard fin 2012. Ce programme prévoit également le financement (montant : 2 M€) d'équipements (bâti de dépôt de dernière génération,

chaîne automatisée de nettoyage, machine de surfacage, système interférométrique de contrôle de forme et d'état de surface) dont certains sont en commande au moment de la rédaction de ce document.

La création de l'Espace Photonique permettra de mettre à l'état de l'art, dans un environnement conforme aux activités de haute technologie, les dispositifs de réalisation et de caractérisation de couches minces optiques. Cette opération permettra également d'aménager des salles pour accueillir les expérimentations en plein développement au laboratoire.

L'Institut Fresnel a pour projet d'unir l'Espace Photonique à la Centrale Technologique Régionale CT-PACA (dossier en cours) et, à terme, de rejoindre une des grandes centrales technologiques du CNRS.

■ REORGANISATION DES SERVICES COMMUNS

Cette réorganisation a été rendue nécessaire suite au regroupement du laboratoire sur un même site.

✦ *Service gestion/administration*

Le regroupement du laboratoire a rendu nécessaire de rationaliser, d'optimiser et d'uniformiser les procédures et les modes de fonctionnement des équipes. Le travail de réorganisation du service gestion/administration a conduit, à partir d'un effectif constant, à la possibilité de créer un poste de secrétariat aux Relations Internationales et Communication. Cette création a eu un impact très fort sur la visibilité du laboratoire, notamment grâce à une capacité nouvelle à exploiter, auprès des médias et de diverses sources de diffusion, la portée des résultats du laboratoire. La capacité d'accueil d'étudiants et de chercheurs étrangers a pu également être fortement accrue. La création de ce poste a notamment permis de faire face à la très grosse charge de travail qu'a entraîné le succès du dossier Erasmus Mundus Europhotonics avec ses deux volets "Master" et "Doctorate".

✦ *Service informatique*

A l'occasion du regroupement, un travail de mise en commun des moyens informatiques a également été réalisé. Désormais le réseau informatique de l'Institut Fresnel, avec ses serveurs de mail et de calcul ainsi que tous les équipements de climatisation et de protection électrique est regroupé en un seul lieu. Le site internet du laboratoire a également été refait à cette occasion pour y intégrer, outre les présentations des équipes, les offres d'emplois, les nouvelles marquantes de l'unité, les notes de service, les documents administratifs...

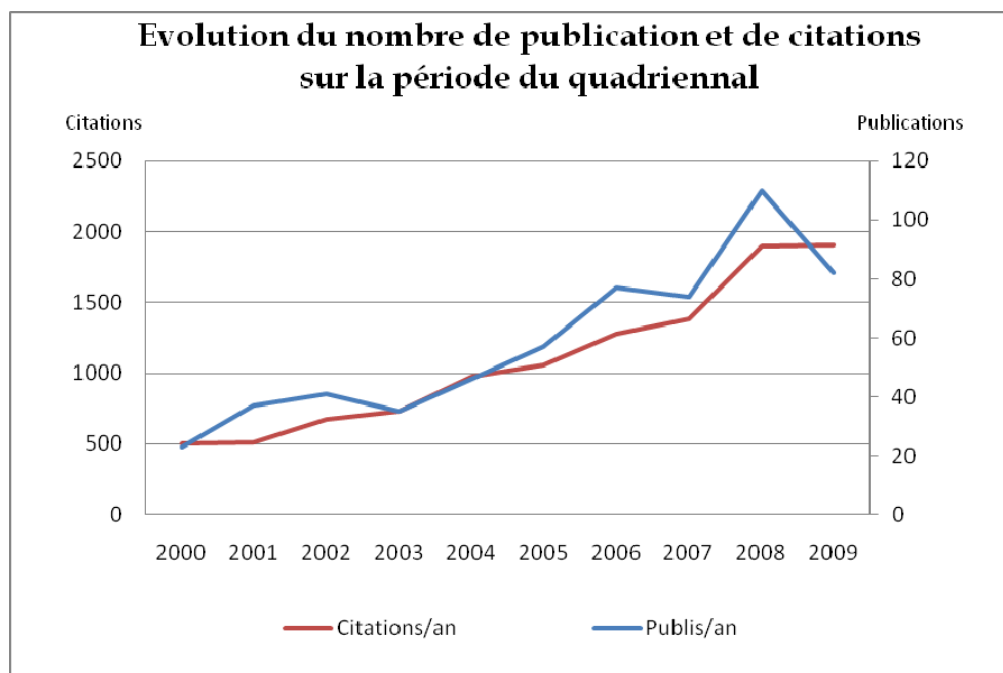
■ PUBLICATIONS - BREVETS

Par rapport au quadriennal précédent, pour un effectif de chercheurs et d'enseignants chercheurs à peu près constant (34 ETPR en moyenne par an), le nombre de publications (ACL - Articles dans des revues internationales à comité de lecture) a fortement augmenté (455 ACL (100 par an en moyenne) contre 252 pour le quadriennal précédent). Ceci correspond à une augmentation de 80%, avec des

publications dans des revues à plus haut indice de citations. Le nombre de publications inter-équipes est en très forte hausse par rapport au quadriennal précédent (46 contre 13). Cette donnée, ajoutée au grand nombre de projets communs (ANR, projets européens, FUI, partenariats avec des industries...) montre la forte unité du laboratoire.

Le tableau suivant donne un récapitulatif, pour chaque année, du nombre de publications du laboratoire (données extraites en mai 2010 de ISI Web of Knowledge) ainsi que le nombre de citations (l'année 2010 étant partielle). Ces données montrent clairement une forte augmentation du nombre de citations par an du laboratoire qui vient confirmer la croissance de la notoriété et de l'impact des travaux de recherche des membres du laboratoire.

	Publis/an	Citations/an
2000	23	505
2001	37	514
2002	41	675
2003	35	728
2004	46	975
2005	57	1 057
2006	77	1 279
2007	74	1 387
2008	110	1 896
2009	82	1 906



On notera que tous les chercheurs et enseignants chercheurs du laboratoire (à l'exception d'un enseignant chercheur dont les responsabilités administratives importantes justifient le bilan) sont "publiants" au sens des critères fixés par l'AERES. On note également une très forte augmentation du nombre de brevets (20 brevets ont été déposés lors de ce quadriennal contre 11 pour le quadriennal précédent). Ces brevets ont été déposés en lien étroit avec les services de valorisation des tutelles. Les chercheurs sont sensibilisés à cet aspect de la valorisation de leurs travaux de recherche.

■ RESULTATS SCIENTIFIQUES MARQUANTS

De nombreux résultats scientifiques importants ont été obtenus par le laboratoire pendant ce quadriennal. Certains d'entre eux seront mentionnés dans ce paragraphe sans souci d'exhaustivité ; l'ensemble des résultats figurant plus loin dans les bilans des équipes. Parmi les faits scientifiques marquants on citera sans ordre d'importance :

- Des travaux sur des effets particuliers ("cloaking") sur différents types d'ondes (mécaniques, électromagnétiques, sismiques) avec des métamatériaux.
- La démonstration expérimentale du concept de transfert (lift-off) d'un empilement multicouches de type "allumette" d'un substrat donneur vers un substrat accepteur.
- Des résultats expérimentaux et théoriques sur l'imagerie en milieu diffus par ellipsométrie sélective.
- La suppression du bruit de fond non résonnant en microscopie CARS (Raman Stimulé).
- Des travaux théoriques sur l'irréversibilité en cohérence optique.
- Des résultats expérimentaux et théoriques sur la microscopie optique ultra-résolue en champ lointain.
- Des travaux théoriques et expérimentaux sur le contrôle de l'émission par des nanotrous.
- Le développement de techniques nouvelles de traitement tensoriel des images hyperspectrales.
- Une démonstration expérimentale du concept de "Light Trimming" qui rend possible une structuration spatiale des propriétés spectrales d'un filtre optique interférentiel.
- Des travaux fondamentaux sur une nouvelle formulation des équations de Maxwell avec des fonctions auxiliaires.
- La mise en place de l'imagerie de phase en champ large en biologie cellulaire.
- Des travaux sur la segmentation automatique et non paramétrée d'images.
- La mise en évidence par des moyens optiques des effets mécaniques et de l'anisotropie dans les forces corticales façonnant l'embryon de drosophile.
- La constitution d'une base de données expérimentales radiofréquences utilisée par des équipes du monde entier pour le test des algorithmes de reconstruction.
- Des travaux en biométrie sur la reconnaissance des personnes par l'iris.
- Le développement d'outils expérimentaux et théoriques pour l'étude de l'interaction lumière à fort flux/matière du régime ultra bref au régime continu.

- Des résultats expérimentaux et théoriques sur les réseaux résonnants utilisés pour le démultiplexage en longueur d'onde.

■ RAYONNEMENT

Dans cette partie sont mentionnés de manière non exhaustive des éléments qui participent au rayonnement du laboratoire.

✚ *Organisation de conférences internationales*

- "Porquerolles Summer School on Plasmonics" (2009).
- "International Japanese American French Workshop on nanobiophotonics" (2009).
- "12th Carl Zeiss sponsored workshop on FCS and related methods" (2009).
- IESC "MicroCARS : Raman and CARS microscopy" (2009).

Activités editoriales

- Edition d'une session spéciale sur l'inversion dans la revue *Inverse Problems* (2009).
- Edition d'une session spéciale sur la microscopie optique tomographique (2010).
- Editeurs associés de la revue *Optics Express* et *Journal of Modern Optics*.

✚ *Divers*

- Lauréat du "Design Problem" organisé par l'OSA dans le cadre des Conférences Internationales "Optical Interference Coatings" (2007 et 2010).
- Vice-président sortant de la SFO de novembre 2005 à juillet 2007.
- Fellow de l'European Optical Society" (2009).
- Médaille de bronze du CNRS (2006).

■ RETOMBÉES MEDIATIQUES DES RESULTATS DES RECHERCHES

Les résultats scientifiques obtenus lors de ce quadriennal, ainsi que les actions de communication entreprises par le laboratoire ont eu des retombées médiatiques à un niveau jamais atteint jusqu'ici. On pourra citer notamment des articles de vulgarisation dans des revues scientifiques à grand tirage (*Le Recherche*, *Pour la Science...*), des articles parus dans la presse écrite comme les quotidiens *Libération*, *Le Monde*, *La Provence*, les hebdomadaires comme *Le Point*, des interviews à la télévision (journal de 20 heures sur TF1), ou dans des programmes radio... La liste correspondante figure en Annexe.

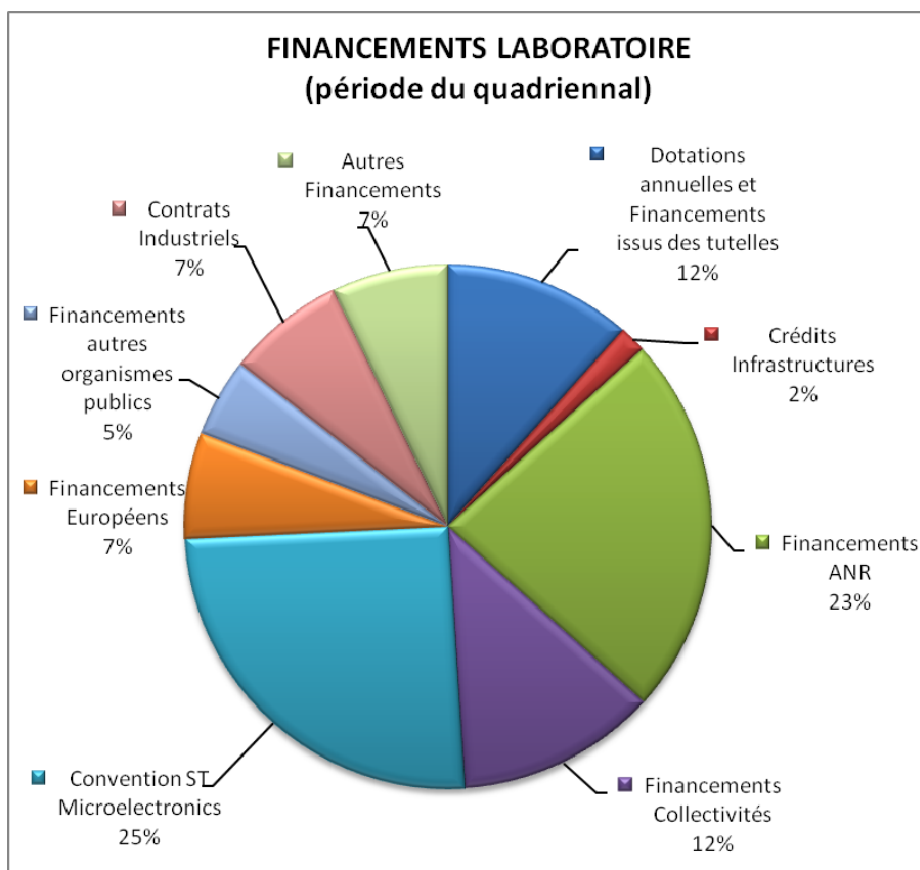
■ BUDGET

Le budget annuel non consolidé (hors salaires) du laboratoire a augmenté par rapport au quadriennal précédent et atteint maintenant environ 2,7 M€ pour environ 72 personnels permanents (34 ETPR) tous statuts confondus. Pour mémoire, le budget annuel était de 750 k€ lors du premier quadriennal et de 2,3 M€ lors du second.

Une analyse de ce budget fait ressortir l'importance des contrats et partenariats industriels qui représentent 32% du budget du laboratoire (7% de contrats industriels et 25% correspondant à la convention avec la société ST Microelectronics).

Les financements ANR obtenus par le laboratoire représentent, eux, 23% du budget pour un montant de 2,8 M€ pendant période de référence.

RECAPITULATIF FINANCEMENTS LABO	
Dotations annuelles et Financements issus des tutelles	1 381 000.00 €
Crédits Infrastructures	198 000.00 €
Financements ANR	2 807 000.00 €
Financements Collectivités	1 471 067.00 €
Convention ST MicroElectronics	3 021 933.00 €
Financements Européens	783 000.00 €
Financements autres organismes publics	576 000.00 €
Contrats Industriels	868 000.00 €
Autres Financements	853 000.00 €
TOTAL	11 959 000.00 €



■ RESSOURCES HUMAINES

L'effectif du laboratoire a légèrement crû lors de ce quadriennal, essentiellement grâce aux recrutements au CNRS.

Le tableau suivant présente le bilan des départs et des recrutements pendant la période du 1^{er} janvier 2006 au 30 juin 2010..

- UPCAM :
 - Recrutements : 3 MCF, 1 IR, 1 T
 - Départs : 1 PR, 2 MCF, 1 T
- ECM
 - Recrutements : 1 PR, 2 MCF, 1 ADT, 1 T
 - Départs : 1 PR, 3 T
- U1
 - Recrutements : 1 PR, 1 MCF
 - Départs : 1 PR
- CNRS
 - Recrutements : 2 DR, 5 CR, 3 T, 1 AI
 - Départs : 2 CR, 1 DR, 2 AI

Par ailleurs, on constate une augmentation de 100% (61 ETP pendant ce quadriennal contre 30 pour le quadriennal précédent) du nombre de contractuels (essentiellement des post-doctorants) et une forte augmentation du nombre de doctorants (51 thèses soutenues lors de ce quadriennal contre 31 pour le quadriennal précédent) malgré une forte baisse des bourses attribuées par le ministère et le CNRS. Ceci indique entre autres une forte évolution de la nature des financements des bourses.

Au cours de ce quadriennal, un certain nombre de promotions ont pu être obtenues par les personnels du laboratoire.

Passages de :

PR2 à PR1 :..... 4	DR2 à DR1 CNRS :..... 1
MCF à PR :..... 2	CR à DR CNRS :..... 2
MCF à MCF HC :... 1	IR2 à IR1 ITA CNRS :.... 2
IE2 à IE1 IATOS :... 1	
ADT à T IATOS :.... 1	

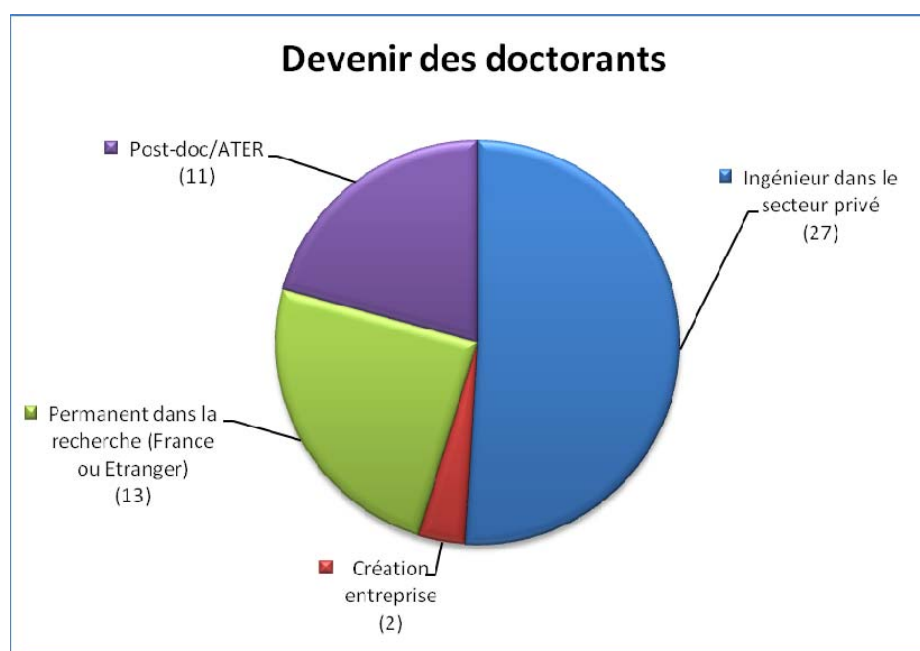
Parallèlement à ces promotions, 11 habilitations à diriger des recherches ont été soutenues lors de ce quadriennal (7 au quadriennal précédent). Ce résultat est à confronter avec la pyramide des âges et aux possibilités de promotion en collègue A offertes par les tutelles.

Ces données seront à prendre en compte dans les années à venir pour la gestion des carrières des membres du laboratoire tous statuts confondus qui devra être une des priorités.

■ INSERTION PROFESSIONNELLE DES DOCTORANTS

Il est important de souligner que tous les doctorants formés à l'Institut Fresnel ont, à ce jour, trouvé un emploi, qu'il soit temporaire ou à durée indéterminée. 55% des doctorants ayant soutenu au cours de ce quadriennal ont intégré une entreprise privée en CDI en tant qu'ingénieur, ou créé leur propre entreprise. 25% ont obtenu un poste permanent dans un organisme public de recherche en France ou à l'étranger. 20% sont actuellement en Post Doc ou ATER.

Le graphique ci-dessous donne le devenir des doctorants ayant soutenu leur thèse au cours de ce quadriennal.



■ CREATION DE START-UP

L'obtention du prix OSEO pour le développement de "biochips" utilisant des imageurs CMOS a conduit deux chercheurs du laboratoire à créer la start-up PIXINBIO en 2009.

La société KAOLAB a été fondée en 2007 par deux anciens doctorants du laboratoire.

A noter que les 4 start-up fondées avant 2006 par d'anciens chercheurs du laboratoire sont actuellement en activité.

■ OUVERTURE VERS DE NOUVELLES THEMATIQUES

Au cours de ce quadriennal, le périmètre des activités et des thèmes de recherches des équipes a évolué. Cela a été dû, entre autres, aux opportunités saisies par les

chercheurs et aux collaborations de plus en plus nombreuses entre les équipes qui ont permis d'ouvrir de nouveaux champs d'investigation.

Parallèlement à cette évolution naturelle, de nouvelles thématiques de recherche sont apparues ou ont été lancées. Les activités liées à l'imagerie biomédicale se sont développées sur la base d'études précédentes, de compétences transverses en imagerie et de recrutements de nouveaux chercheurs. Des partenariats industriels avec plusieurs entreprises, des travaux communs avec des laboratoires (Centre d'Immunologie de Marseille Luminy (CIML), Institut de Biologie du Développement (IBDML)), avec des CHU et des projets lancés dans le cadre du Centre Européen d'Imagerie Médicale (CERIMED) ont favorisé cela en orientant une partie des applications des recherches des équipes en imagerie vers le domaine de la santé.

Il a été décidé, pour la rentrée 2010, de recruter un enseignant-chercheur confirmé en "Optique Quantique et Information" pour amener à l'Institut Fresnel de nouvelles compétences dont l'absence risquait à terme d'obérer le développement de recherches dans plusieurs domaines. Ceci en particulier pour la prise en compte des mécanismes d'interaction lumière-matière à des échelles petites spatialement et/ou temporellement qui est nécessaire pour la compréhension et l'étude de nombreux phénomènes et qui est aussi source de nombreuses applications potentielles. En effet, une approche quantique s'avère nécessaire dans des cas où les objets d'étude ont des échelles nanométriques, lorsque les impulsions lumineuses sont dans un régime ultra court, lorsque peu de photons sont émis ou transmis et enregistrés... Cela pour des études de problèmes qui concernent l'électrodynamique en cavité, l'étude des statistiques photoniques pour l'information et la détection ou encore l'interaction lumière/ondes de matière.

Le recrutement de ce Professeur des Universités, extérieur au laboratoire, qui a été fait sur un support vacant de l'Ecole Centrale, a fait l'objet d'une campagne d'annonces dans les plus grandes revues scientifiques internationales et sur les sites des universités les plus prestigieuses à l'échelle mondiale.

Le recrutement, sur mutation, d'un Chargé de Recherche (section 05) en juin 2010, spécialiste d'imagerie dans le domaine des rayons X, a permis d'élargir les domaines d'études du laboratoire qui désormais s'étendent des rayons X aux hyperfréquences. Ce recrutement, qui a été précédé d'une période de collaborations qui a montré que des études menées à l'Institut Fresnel sur la microscopie tomographique optique pouvaient être transposées avec succès en imagerie X, ouvre le champ des recherches du laboratoire vers de nouvelles applications et vers des domaines de la physique plus en lien avec la matière.

■ CREATION D'UNE NOUVELLE EQUIPE

Les spécificités liées à l'instrumentation dans le domaine des hyperfréquences et aux thématiques correspondantes ont conduit à la proposition de constitution, en septembre 2008, après avis des l'assemblée des responsables d'équipe et du Conseil

de Laboratoire, du groupe HIPE (Hyperfréquences Instrumentation, Processing, Expérimentation). Ce groupe, constitué de 4 enseignants chercheurs et d'un IR CNRS issu de l'équipe SEMO, a fonctionné durant les années 2009 et 2010 sous tous les aspects comme une équipe. A l'issue d'une période d'évaluation des résultats en termes de production scientifique, de finances, d'aspects administratifs et de perspectives, un avis extérieur a été demandé sur l'opportunité de conférer au groupe HIPE le statut d'équipe pour le prochain quadriennal. L'assemblée des responsables d'équipe et le Conseil de Laboratoire ont étudié cette question en prenant en compte cet avis et les conséquences qu'entraîne la création d'une équipe supplémentaire. Sur la base de cette analyse, le Conseil de Laboratoire a donné, le 18 juin 2010, un avis favorable pour la création de l'équipe HIPE qui devient la 8^{ème} équipe du laboratoire.

La même procédure, nouvelle au laboratoire, sera suivie à l'avenir lorsque l'éventualité de la création d'une équipe apparaîtra. La mise en place de cette procédure permettra au laboratoire de faire évoluer sa structure de manière concertée et maîtrisée.

■ IMPLICATION DU LABORATOIRE DANS DIFFERENTES STRUCTURES

La participation du laboratoire au GIS Photonique et Instrumentation Avancée (PIA) a permis de renforcer, sous la forme de différents projets financés entre autres par l'ANR, les collaborations avec d'autres laboratoires marseillais travaillant dans le domaine de la Photonique (LAM, LP3). L'élargissement du GIS PIA à d'autres laboratoires (PIIM, CPPM) et le CEA Cadarache (IRFM) permettra d'ancrer et d'identifier plus fortement la recherche en Photonique dans le périmètre local.

L'Institut Fresnel a continué d'être un partenaire académique privilégié du pôle de compétitivité OPTITEC - POP Sud et au C'Nano PACA en participant activement à leur fonctionnement et à leur développement.

Plusieurs membres de l'Institut Fresnel sont impliqués dans le fonctionnement de la Société Française d'Optique et sont impliqués dans les congrès parrainés par elle. L'Institut Fresnel participe au fonctionnement de différentes agences comme l'ANR et l'AERES. Il participe (certains de ses membres y occupent des fonctions de responsabilité) au fonctionnement du CNRS et des ses autres tutelles.

EQUIPES DE RECHERCHE

BILAN SCIENTIFIQUE CLARTE

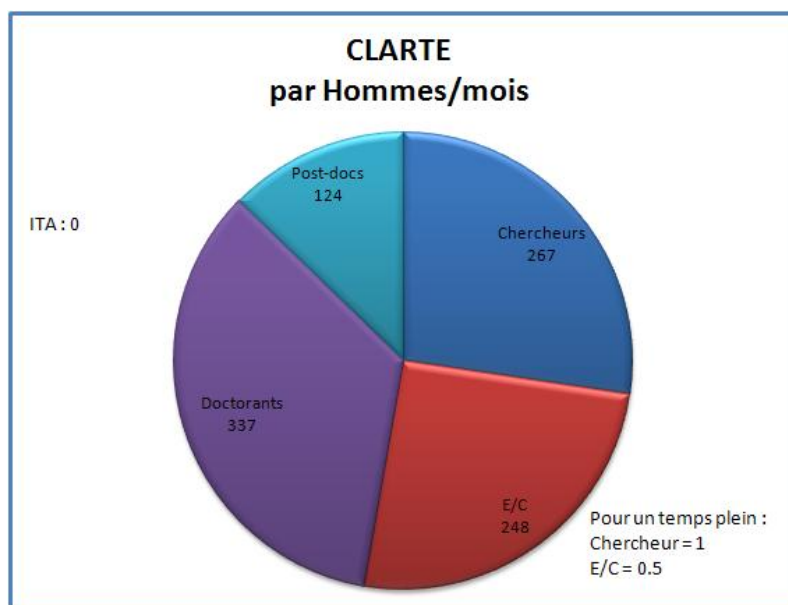
Responsable d'équipe : Gérard TAYEB

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
BITTEBIERE Jean	MCF	ECM
BONOD Nicolas	CR2	CNRS (<i>arrivée : 01.10.06</i>)
ENOCH Stefan	DR2	CNRS
FEHREMBACH Anne-Laure	MCF	UP
GRALAK Boris	CR1	CNRS
GUENNEAU Sébastien	CR1	CNRS
NICOLET André	PR1	UPCAM
POPOV Evgueni	PR1	UP
RENVERSEZ Gilles	MCF	UPCAM
STOUT Brian	MCF	UP
TAYEB Gérard	PR1	UPCAM
ZOLLA Frédéric	PR2	UP

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
CHAN SHIN YU Kristel	Doctorante	2011
DEVILEZ Alexis	Doctorant	2010
DUPONT Guillaume	Doctorant	2012
KADIC Muamer	Doctorant	2011
MOHAMED Malidé	Doctorant	2010
SHU Da	Doctorant	2012
SMIGAJ Wojciech	Doctorant	22.09.2010



267 Homme/mois ETP de chercheurs + 248 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 43 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 9,5 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

Les activités de l'équipe CLARTÉ sont axées sur la modélisation électromagnétique. Nous mettons à profit les codes que nous développons pour étudier des phénomènes en relation avec la photonique, comme par exemple la plasmonique, les fibres optiques, les cristaux photoniques, les métamatériaux, les réseaux de diffraction,... Nous menons à la fois des travaux exploratoires et des études très proches d'applications pratiques, sans négliger la diffusion des résultats sous des formes que nous essayons de varier au maximum (publications scientifiques et de vulgarisation, brevets, conférences, médias,...). Bien que les frontières entre ces différents travaux ne soient pas nettement définies du fait de nombreuses interactions entre les diverses activités, nous avons tenté de les classer parmi les 5 thèmes suivants.

■ **THEME 1 : CRISTAUX PHOTONIQUES ET PHONONIQUES**

Les cristaux photoniques sont des structures périodiques diélectriques dont les dimensions de la cellule élémentaire sont en résonance avec la longueur d'onde du champ électromagnétique. Initialement introduits pour contrôler l'émission spontanée, les cristaux photoniques sont maintenant étudiés pour miniaturiser des dispositifs en optique intégrée. Dans ce contexte l'équipe CLARTÉ a proposé de nouveaux composants optiques basés sur la réfraction négative (lentille plate de Veselago/Pendry et structures en échiquier) et de nouveaux isolateurs en matériaux magnéto-optiques. En parallèle, en transposant certains de ces concepts à la mécanique, l'équipe CLARTÉ a mis en évidence de nouveaux phénomènes mettant en jeu des ondes acoustiques et élastiques.

L'étude des composants optiques à indice négatif a été effectuée dans le cadre des projets METAPHORE (AC Nanosciences, 2005-2008) et FANI (programme PNANO de l'ANR, 2008-2010). Cette étude a porté sur le couplage à l'interface séparant l'air d'un cristal photonique [53, 131, 133] et la réduction des pertes par réflexion. Une lentille plate avec un indice de réfraction proche de -1 pour tous les angles d'incidence a été proposée [160], fabriquée à l'IEMN (Lille) pour fonctionner à la longueur d'onde de 1.5 μm , et est en cours de caractérisation à l'ICB (Dijon). L'équipe CLARTÉ a par ailleurs proposé en collaboration avec A. Ramakrishna (Indian Institute of Technology Kanpur) de piéger la lumière dans des cristaux photoniques organisés en échiquiers [99, 85]. Ces derniers se comportent comme des résonateurs ouverts s'appuyant sur le principe de la réfraction négative.

Les dispositifs optiques intégrés sont actuellement protégés par des isolateurs mesurant quelques millimètres. Avec des matériaux magnéto-optiques, il devrait être possible de réduire ces dimensions à quelques micromètres. En collaboration avec l'IEF (Orsay) dans le cadre du projet MAGNETOPHOT (programme BLAN de l'ANR, 2007-2009), deux composants non réciproques ont été proposés. Le premier est un miroir unidirectionnel qui est transparent pour une direction de propagation et réfléchissant pour la direction opposée [162]. Le second est un circulateur qui présente une isolation de 20dB sur une bande passante de 80 GHz autour de la longueur d'onde de 1.3 micromètre [166]. Ces composants fonctionnent avec un champ magnétique externe et sont réalisables avec la technologie actuelle (contrairement à d'autres solutions proposées par ailleurs). Ils ont été gravés à l'IEF et sont en cours de caractérisation.

En dressant des analogies entre les équations de l'optique et de l'acoustique dans les structures périodiques, et donc de leurs spectres de bandes [123], il est possible de transposer le phénomène de focalisation par réfraction négative au cas des vagues à la surface d'un liquide [119, 147], de neutraliser les ondes de cisaillement dans les solides [151], ou même de réaliser un endoscope avec des ondes de cisaillement, de flexion et de pression dans des barres élastiques [139, 105, 140]. Ces analogies entre l'optique et la mécanique ont par ailleurs permis de proposer un design de guide périodique à variation lente qui permet de ralentir considérablement la vitesse des ondes élastiques [140]. Ces recherches sont menées en collaboration avec Alexander Movchan à l'Université de Liverpool et Richard Craster à l'Imperial College de Londres.

■ THEME 2 : METAMATERIAUX ET CLOAKING

Les métamatériaux sont des structures composites qui simulent des matériaux homogènes et dont les propriétés transcendent celles des matériaux naturels (en particulier les matériaux de la main gauche, i.e. pour lesquels ϵ et μ sont simultanément négatifs [78, 125, 129, 152, 165, 167] ou les matériaux hétérogènes fortement anisotropes en ϵ et μ tels que les capes d'invisibilité [4, 104, 126, 171]). Ces matériaux composites sont souvent composés d'un arrangement périodique de structures élémentaires dont la taille est très inférieure à la longueur d'onde

(domaine d'homogénéisation [81, 83]). Ces briques élémentaires peuvent être vues comme des résonateurs de Helmholtz en acoustique, ce qui permet de jeter des ponts entre les modèles électromagnétiques et élastodynamiques. Nous avons ainsi proposé les premières lentilles plates haute résolution, et capes d'invisibilité pour les vagues et les ondes sismiques [84, 118, 141, 146, 148, 164]. Notre recherche sur l'invisibilité a été largement relayée par les médias nationaux avec notamment une couverture du journal *Le Monde* en Mai 2007 pour la simulation d'une cape d'invisibilité pour une source en champ proche [104], un dossier dans *Libération* en Décembre 2008 pour notre invention de la première cape à vagues [118], sans oublier un article dans *Le Monde* en Juillet 2009 suivi d'un dossier dans la revue américaine à grand tirage *Popular Science* en Novembre 2009 sur notre concept de cape anti-sismique [146], qui fait d'ailleurs l'objet d'un dépôt de brevet avec le CNRS. Ces deux dernières découvertes ont été sélectionnées parmi les faits marquants du département ST2I du CNRS en 2008 et 2009.

La thématique des métamatériaux au sein de l'équipe CLARTÉ se décline suivant quatre grands axes.

- Le premier axe peut se résumer à l'élaboration de modèles théoriques et de codes numériques performants permettant d'obtenir la fonction de Green en présence de structures comprenant des matériaux d'indice négatif (dispersif) en utilisant le formalisme des champs auxiliaires qui met en jeu une équation d'évolution avec un opérateur auto-adjoint [167]. Cet axe s'appuie sur l'expertise reconnue du laboratoire dans les métamatériaux optiques, tant du point de vue des lentilles plates de Pendry-Veselago, des antennes directives (pour une permittivité proche de zéro), que des coins parfaits (échiquiers alternant des cases d'indices opposés).

- Le deuxième axe se concentre sur l'analyse limite permettant de déduire les paramètres homogénéisés associés à un matériau structuré à une échelle inférieure à la longueur d'onde. Nous avons notamment démontré qu'un assemblage périodique d'éléments chiraux se comporte comme un matériau effectif d'indice négatif aux grandes longueurs d'ondes [83], comme conjecturé par John Pendry en 2004. Notre équipe a par ailleurs proposé un modèle de cape d'invisibilité métallique large bande pour les micro-ondes qui fonctionne dans le domaine d'homogénéisation [117]. La cape à vagues s'appuie sur le même principe.

- Le troisième axe consiste à repousser les frontières de l'optique. Cette recherche couvre en particulier les capes d'invisibilité par résonance anormale [129] pour lesquelles l'objet à cacher est situé non pas à l'intérieur mais à l'extérieur de la cape, ce qui est contraire à l'intuition physique! L'optique de transformation a par ailleurs pris un nouvel essor avec des capes construites dans des espaces courbes tels qu'une sphère [171].

- Le quatrième axe est une thématique transverse qui dresse des analogies entre l'optique et l'acoustique, afin de transposer les métamatériaux électromagnétiques au domaine de l'élasticité [84, 118, 141, 146, 148, 164] avec des applications originales en génie civil (structures anti-vibratoires pour les bâtiments et les ponts suspendus).

■ THEME 3 : PLASMONIQUE

Cette thématique s'intéresse à l'exaltation du couplage lumière-matière par l'excitation de plasmons de surface, oscillation collective des électrons libres des métaux. Certains membres de l'équipe CLARTÉ ont été parmi les premiers à s'intéresser dès le début des années 1970 à l'absorption totale de la lumière par l'excitation de plasmons de surface sur des réseaux métalliques. Ce sujet a connu un vif regain d'intérêt ces dernières années dans l'objectif de concevoir des absorbeurs optiques ultrafins [108, 109, 154, 158], des biosenseurs optiques ultrasensibles [110], des métamatériaux [158] et par l'émergence de circuits plasmoniques [72].

Nous développons des méthodes numériques afin de résoudre les équations de Maxwell dans un grand nombre de composants optiques. Nous avons acquis une grande expérience dans la théorie des milieux périodiques, et nous avons étudié la propagation des plasmons de surface sur les réseaux métalliques [97, 98]. Nous avons également développé une théorie électromagnétique afin de réaliser des études fondamentales sur la diffraction de la lumière par un trou sub-longueur d'onde percé dans un film métallique. Nous l'avons utilisée pour modéliser les renforcements de l'intensité lumineuse observés dans des nano-ouvertures pour des applications en biophotonique. Ces derniers travaux [8, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 16, 17] ont été réalisés en collaboration étroite avec l'équipe Mosaic de l'Institut Fresnel.

Dans le cadre de la théorie des réseaux métalliques, nous nous sommes intéressés à la propagation des plasmons de surface sur des substrats métalliques nano-structurés. La structuration des surfaces métalliques perturbe la propagation des plasmons de surface, elle diminue leur vitesse de propagation, et augmente les pertes par rayonnement et par absorption. La propagation du plasmon de surface peut même être totalement bloquée [97]. En revanche, nous avons montré que dans certaines conditions, la propagation des plasmons de surface pouvait être facilitée par l'introduction d'une structuration profonde de la surface métallique. Ces conditions dépendent du couplage du plasmon avec une onde stationnaire dans les sillons creusés dans le substrat métallique [98]. Cette étude nous a conduits à ce résultat contre-intuitif: un plasmon de surface peut se propager plus loin sur une surface métallique fortement structurée que sur une surface plane !

Les réseaux de diffraction sont largement utilisés dans les circuits plasmoniques afin de créer des plasmons de surface à partir d'une lumière propagative. L'efficacité de ce couplage est fondamentale pour les futurs circuits plasmoniques, et dans un grand nombre de dispositifs, il serait nécessaire d'exciter un plasmon de surface se propageant dans une seule direction lorsque le réseau est éclairé en incidence normale. Avec des collègues russes et chinois, nous avons montré que des réseaux inclinés permettaient de casser la symétrie du dispositif optique, conduisant à l'excitation d'un plasmon de surface dans une seule direction avec une très grande efficacité [72].

Dans le cadre de la réalisation d'absorbeurs optiques, nous avons montré que des réseaux lamellaires profonds pouvaient absorber totalement une lumière incidente indépendamment de sa polarisation [109]. La solution réside dans une profondeur de gravure suffisamment importante, de l'ordre d'une demi-longueur d'onde, pour que les sillons forment une cavité optique dans laquelle l'intensité lumineuse peut être fortement renforcée en polarisation transverse électrique, et que des plasmons de surface, couplés à une onde stationnaire dans la cavité puissent se propager sur la surface métallique en polarisation transverse magnétique. Nous avons montré qu'il est possible d'obtenir des absorbeurs optiques à partir de métaux nano-structurés dont le mécanisme ne repose pas sur l'excitation de plasmons de surface [108]. Lorsque des cylindres de silice sont insérés sous une surface plane d'un substrat d'or, ils piègent la lumière incidente par effet tunnel à travers la fine couche métallique résiduelle, et permettent d'absorber totalement la lumière incidente polarisée transverse électrique, polarisation pour laquelle le mode plasmonique n'est pas solution des équations de Maxwell. L'absorption totale de la lumière par des métaux structurés (ou poreux) ne nécessite donc pas nécessairement l'excitation de plasmons de surface. En revanche, un résultat récent montre que des métaux nano-structurés sur une profondeur de quelques nanomètres permettent par l'intermédiaire de plasmons d'absorber totalement la lumière. Nous avons montré que ce résultat peut s'expliquer par la théorie de l'homogénéisation [154, 158]: lorsque la période de structuration est négligeable par rapport à la longueur d'onde incidente, une couche nano-structurée de quelques nanomètres se comporte comme une couche mince anisotrope à fortes pertes, absorbant totalement la lumière incidente sur un large intervalle angulaire [158].

Le deuxième axe de recherche en plasmonique porte sur la théorie de la diffraction par une ouverture sub-longueur d'onde. Un des intérêts de ces structures est de coupler la lumière dans une direction à l'infini avec une tache de lumière sub-longueur d'onde au voisinage de l'ouverture. Les applications sont multiples, en gravure, en imagerie, avec des applications en biophotonique menées en collaboration avec l'équipe Mosaic [6, 7, 8, 11, 12, 14, 17]. Bien que la diffraction de la lumière par une ouverture nanométrique soit un sujet fondamental de l'électromagnétisme, plusieurs études récentes ont montré une directivité plus forte de la lumière dans les métaux réels que celle prédite par les théories de Bethe et Jackson. Cette plus forte directivité a été expliquée par l'excitation de plasmons de surface, plasmons qui ne peuvent être excités dans le cas des métaux infiniment conducteurs. Nous avons montré que cette plus grande directivité observée en champ lointain dans le cas de métaux réels ne s'explique pas par l'excitation de plasmons de surface mais par une diminution par rapport aux métaux infiniment conducteurs du module de la permittivité [97].

■ **THEME 4 : DIFFRACTION ET RESEAUX : MODELISATION, ANALYSE ET APPLICATIONS.**

La modélisation, basée sur l'électromagnétisme, de la diffraction de la lumière par des composants structurés à l'échelle de la longueur d'onde est un domaine dans

lequel l'équipe CLARTÉ possède une longue expérience internationalement reconnue. Cette expertise se retrouve actuellement à travers les 4 thèmes suivants.

Th4-1 : Les réseaux résonnants pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde

Les filtres à réseau résonnant sont une nouvelle génération de filtres, composés d'un réseau sub-longueur d'onde gravé sur un empilement de couches diélectriques. Leur bande passante peut être infiniment fine, en théorie, d'où une forte propension à des applications de filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde. Leurs points faibles sont une faible tolérance angulaire et une forte dépendance à la polarisation. Nous avons proposé des configurations complexes pour limiter ces défauts. Des collaborations avec des équipes spécialistes de lithographie électronique sont issues des composants fonctionnant dans diverses configurations [22, 23 31]. Notamment, un filtre indépendant de la polarisation avec un facteur de qualité de plus de 5000 a été obtenu (bande passante de 0.28nm à 1550nm). Ces expériences valident les configurations optimisées proposées, et nous ont permis d'identifier les défauts expérimentaux limitant les performances des filtres [26]. Nous concluons que ces défauts sont corrigibles en améliorant le processus de lithographie, et nous espérons obtenir des performances encore plus remarquables dans le futur. Ce thème est développé en collaboration avec les équipes SEMO et RCMO de l'Institut Fresnel, avec deux autres laboratoires du CNRS (LPN - Marcoussis et LAAS - Toulouse). Il a bénéficié du soutien financier de plusieurs organismes (ANR, CNES, ADEME) et donné lieu à 3 thèses depuis 2006, dont une soutenue en 2008.

Th4-2 : Les sphères micrométriques pour la création de nanojets photoniques

L'effet de focalisation offert par une sphère micrométrique a été découvert il y a plus d'un siècle par Mie. Il est dénommé communément "effet Mie". En 2004, un traitement électromagnétique rigoureux effectué par une équipe américaine a montré que lorsque des sphères micrométriques sont éclairées dans le spectre visible, elles induisent un nanojet photonique aux propriétés remarquables: (i) dimension transverse inférieure à la longueur d'onde, (ii) faible divergence. Nous avons développé une méthode analytique afin de déterminer le spectre de ce jet photonique. Cette étude a permis de quantifier l'importance des ondes évanescentes issues de la diffraction de l'onde plane incidente sur la sphère dans le renforcement de l'intensité lumineuse au point focal. L'analyse spectrale a mis en évidence un spectre beaucoup plus riche que celui d'un faisceau gaussien, à l'origine de la faible divergence du faisceau [114]. En collaboration avec l'équipe Mosaic de l'Institut Fresnel, nous avons imagé ce nanojet photonique dans le domaine visible [9]. Nous avons également montré que lorsque ces sphères sont éclairées par un faisceau focalisé, elles offrent un confinement tridimensionnel de la lumière [15], et se présentent comme des composants optiques prometteurs pour la spectroscopie de fluorescence [10, 13].

Th4-3 : Les réseaux de diffraction pour la compression d'impulsions laser

La réalisation de lasers délivrant des impulsions brèves de puissances supérieures au petawatt a été rendue possible par la technique d'amplification par dérive de fréquences qui utilise des réseaux de diffraction pour étirer puis comprimer les impulsions lasers. Nous travaillons sur le développement des réseaux de diffraction

pour le CEA CESTA et l'Institut de la Lumière Extrême dans le cadre des projets PETawatt Aquitaine Laser (PETAL) et Extreme Light Intensity (ELI), en collaboration avec la société Horiba Jobin Yvon. L'objectif est de concevoir des réseaux qui présentent une très forte efficacité réfléchie dans l'ordre (-1) ainsi qu'un seuil d'endommagement laser élevé [49, 111], et une très large tolérance spectrale (de l'ordre de 200 nm). Nous étudions actuellement des réseaux gravés sur un empilement réduit de couches minces diélectriques déposés sur or. Nous avons montré que le profil de gravure influe sur le renforcement de l'intensité lumineuse dans le matériau, et donc sur le seuil d'endommagement laser du réseau. Deux brevets concernant ces travaux ont été déposés [Dispositif optique dispersif à cristal photonique tridimensionnel - Réseau de diffraction réfléchissant optimisé], dont l'un a été étendu à l'international [Dispersive Optical Device With Three dimensional Photonic Crystal].

Th4-4 : La modélisation de la diffraction par une structure périodique complexe: les capteurs CMOS

La miniaturisation des capteurs CMOS pour l'obtention de systèmes optiques à la fois extrêmement compacts et performants est aujourd'hui telle que la taille des pixels est de l'ordre du micromètre. Pour des longueurs d'onde du visible, les techniques de modélisation traditionnelles de type tracé de rayons sont donc vouées à l'échec: le caractère vectoriel du champ diffracté ne peut plus être ignoré. Il s'agit alors de mettre au point un code de calcul de type réseau de diffraction avec une cellule élémentaire tridimensionnelle, aux caractéristiques opto-géométriques très complexes. Afin d'utiliser une méthode de type éléments finis de volume, adaptée à la complexité du problème, il a fallu faire face à trois difficultés majeures: (i) "ramener" à distance finie les sources, (ii) prendre en considération les conditions de quasi-périodicité des champs sur les faces latérales, (iii) utiliser des PML (Perfectly Matched Layer) ad hoc pour absorber sans réflexion aucune les ondes éventuellement propagatives dans le substrat et le superstrat. Le code de calcul développé suivant cette méthodologie a été comparé avec des codes rigoureux fondés sur des méthodes complètement différentes et performantes dans des cas académiques. Les résultats mettent en évidence la précision de la méthode qui vient d'être mise au point (plus de six chiffres significatifs) [5, 3, 1, 2]. Ce projet se fait en collaboration avec l'équipe MAP2 de l'Institut Fresnel dans le cadre d'un contrat avec ST-Microelectronics (Rousset). Ces études ont été au cœur de la thèse Guillaume Demésy, soutenue le 16 avril 2009.

■ **THEME 5 : FIBRES OPTIQUES**

Nos activités de recherche dans le domaine des fibres optiques microstructurées se sont poursuivies tout au long de la période 2006-2010. On peut regrouper ces activités en 3 grands thèmes détaillés ci-dessous:

Th5-1 : Développement de méthodes numériques ou de modèles spécifiques pour les problèmes linéaires

Aux cours de ces dernières années nous avons poursuivi le développement de méthodes numériques en électromagnétisme pour l'étude des fibres microstructurées. Nous avons ainsi mis au point une nouvelle méthode basée sur la méthode différentielle, qui a permis de dépasser les limitations de la méthode multipolaire, développée et mise en œuvre les années passées. Cette nouvelle méthode permet de calculer les indices effectifs des modes de fibres microstructurées de section quelconque, et éventuellement non homogène par morceaux. Cette méthode assure le calcul des indices effectifs avec une très bonne précision. La contrepartie est bien évidemment un temps de calcul plus long.

Nous avons aussi développé un modèle basé sur l'utilisation d'un système de coordonnées hélicoïdales qui est obtenu à partir d'axes cartésiens. Ce modèle a pu être construit grâce à une approche géométrique des équations de Maxwell que nous prônons depuis longtemps et qui préfigurait l'optique de transformation (voir la partie sur le cloaking). Dans le cas des coordonnées hélicoïdales obtenues, une propriété remarquable est que les caractéristiques des matériaux équivalents sont indépendantes de la coordonnée liée à l'axe de la fibre. Nous disposons donc d'un outil flexible pour la prise en compte rigoureuse de la torsion des fibres. Des modèles asymptotiques ont aussi été développés pour améliorer notre compréhension de ces phénomènes de torsion sur les propriétés de guidage.

Nous avons également étudié le couplage entre les ondes électromagnétiques et les ondes élastodynamiques dans les fibres microstructurées, que cela soit par une méthode purement numérique ou une approche plus analytique de manière à mieux saisir les aspects phénoménologiques. Ces derniers travaux s'effectuent en collaboration avec le Prof. A.B. Movchan de l'Université de Liverpool.

Th5-2 : Applications et comparaisons expériences/théories linéaires

En utilisant les méthodes numériques que nous avons développées et en améliorant notre compréhension des propriétés de guidage des fibres optiques microstructurées, nous avons obtenu plusieurs résultats marquants pour des fibres en verre de haut indice utilisables aussi bien pour les télécommunications que dans l'infrarouge plus lointain. On peut citer: la conception de la première fibre optique microstructurée guidante en verre de chalcogénure, fibre réalisée par le regroupement Laboratoire des Verres et Céramiques LVC de Rennes (UMR 6226) et PERFOS, et plus récemment la conception de la première fibre optique microstructurée en verre TAS ($n \approx 2.9$) pour un guidage par bande interdite photonique à $9.3 \mu\text{m}$, la fibre ayant été fabriquée par LVC/PERFOS. Dans un autre registre, nous avons donné une nouvelle interprétation des mécanismes de guidage dans les fibres microstructurées de type Anti Resonant Reflecting Optical Waveguide en termes d'anti-croisement de modes à pertes qui complètent et précisent notre compréhension de la propagation dans ce type de fibres. Nous avons aussi proposé une origine physique (un problème de diffusion par des micro-bulles aux interfaces verre-verre) aux excès de pertes observées expérimentalement dans les fibres optiques microstructurées en verre de chalcogénure obtenues par la méthode de stack-and-draw. Ceci a été confirmé

expérimentalement et a conduit nos collègues fabricant ce type de fibre à développer très récemment deux nouvelles méthodes de fabrication.

De manière plus ponctuelle, nous avons étudié par des simulations 3D des composants optiques en bout de fibres afin de calculer puis de réduire les pertes générées par ces composants, pertes qui limitent actuellement leur utilisation.

Th5-3 : Études des non-linéarités par des approches conventionnelles ou novatrices

Depuis 2005, nous avons étendu nos travaux en électromagnétisme aux phénomènes non-linéaires dans deux cadres complémentaires. Le premier, en très fort lien avec l'activité précédente, concerne la conception et l'étude de la génération de supercontinuum dans le moyen infrarouge qui est une gamme spectrale où très peu de sources sont actuellement disponibles et où les applications sont nombreuses. Nous avons ainsi conçu et étudié numériquement la première fibre microstructurée, à cœur suspendu en verre de chalcogénure, pour ce type d'application. Ce travail s'est effectué en très étroite collaboration avec l'équipe Solitons Laser et Communications Optiques de l'Institut Carnot de Bourgogne (UMR 5209) qui a fabriqué et caractérisé les fibres.

Le second cadre est la reprise 'ab-initio' de l'électromagnétisme non-linéaire, et ce, tant du point de vue de l'aspect propagatif dans les guides d'onde comme des fibres que du point de vue diffractif. Ainsi contrairement au premier cadre, nous ne nous plaçons plus dans le domaine de validité de l'équation de Schrödinger non linéaire pour l'aspect propagatif. Nous avons ainsi développé un modèle complètement original, basé sur la résolution des équations de Maxwell, soit dans leur réduction scalaire, soit en conservant leur caractère vectoriel, qui nous a permis de vérifier la validité puis de généraliser le concept de soliton spatial de Townes comme décrit dans l'article original de 1964. Nous sommes désormais capables de calculer ces solitons spatiaux en tenant compte de la structure initiale que cela soit un milieu homogène, un nanofil ou une fibre microstructurée. Le développement de ce modèle s'est fait en collaboration avec le Prof. C. Geuzaine de l'Université de Liège. Pour l'aspect diffractif, nous avons mis au point une méthodologie radicalement nouvelle permettant d'étudier le comportement des matériaux non-linéaires (de type $\chi^{(2)}$ et/ou $\chi^{(3)}$, par exemple) dont les dimensions caractéristiques sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde du faisceau incident. Cette approche novatrice tant du point de vue numérique que du point de vue conceptuel a permis de répondre à des questions aussi fondamentales que celle qui consiste à connaître les critères que doivent satisfaire un matériau non-linéaire pour ne pas faire apparaître de pertes par effet Joule. Cette méthodologie a permis, en outre, de s'affranchir d'hypothèses couramment faites a priori comme celle de la non-déplétion de l'onde de pompe et ainsi savoir dans quelle mesure cette approximation était licite.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

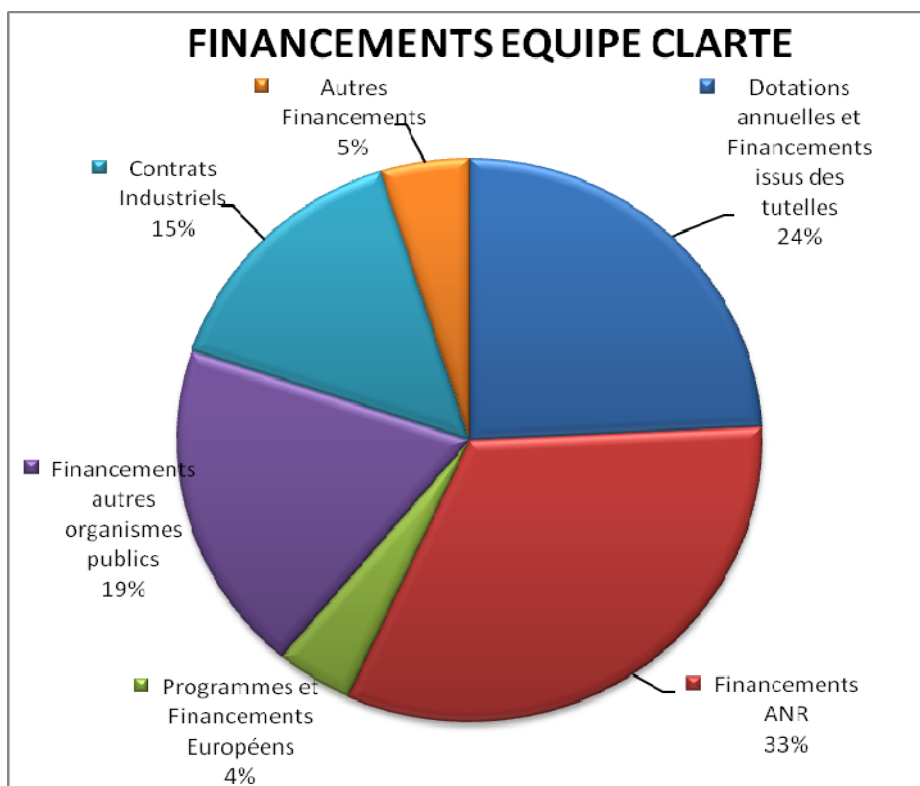
■ PUBLICATIONS

En bref :

ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	161
ASCL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales sans comité de lecture</i>)....	5
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>).....	16
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	17
ACTN (<i>Communications avec actes dans un congrès national</i>)	2
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	62
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>).....	5

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE CLARTE	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	239 426.76 €
Financements ANR	321 938.76 €
Programmes et Financements Européens	42 267.24 €
Financements Autres Organismes Publics	188 066.54 €
Contrats Industriels	147 702.36 €
Autres Financements	48 461.92 €
TOTAL	987 863.58 €



Bilan financier détaillé de l'équipe CLARTE

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date de début du contrat	Date de fin du Contrat	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		18 701.08 €	UPCAM
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	23 066.54 €	27 587.58 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		4 960.84 €	UP
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		20 853.01 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	20 790.01 €	24 864.85 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	19 065.22 €	22 802.00 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		2 370.77 €	UP
	2008	RENVERSEZ Gilles	Capteurs chimiques pour l'IR moyen	MRCT	07/03/2008	31/12/2008	11 000.00 €	13 156.00 €	CNRS
	2008	BONOD Nicolas	Nanostructuration de films par irradiation laser de particules	PEPS	15/02/2008	31/12/2008	10 000.00 €	11 960.00 €	CNRS
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	17 220.21 €	20 595.37 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		12 386.28 €	ECM
	2009	RENVERSEZ Gilles	Capteurs chimiques pour l'IR moyen	MRCT	17/03/2009	16/03/2010	10 000.00 €	11 960.00 €	CNRS
	2009	BONOD Nicolas	Colloque summer school on Plasmonics Porquerolles 13 au 17/09/2009	UP	02/06/2009	31/12/2009	643.20 €	800.00 €	UP
	2009	BONOD Nicolas	Bilan Colloque summer school on Plasmonics Porquerolles 13 au 17/09/2009	CNRS	02/06/2009	31/12/2009	21 600.00 €	25 833.60 €	CNRS
2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	17 220.28 €	20 595.37 €	CNRS	
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES								239 426.76 €	
Financements ANR	2006	GUENNEAU Sébastien	Iron garnet-based and ferromagnetic metal-based magneto-photonic crystal components for miniaturized integrated non-reciprocal optical devices	ANR	06/11/2006	05/11/2009	134 210.00 €	160 515.16 €	CNRS
	2007	ZOLLA Frédéric	Propagation des Ondes Electromagnétiques dans les Metamateriaux	ANR	01/01/2007	31/12/2011	82 100.00 €	98 191.60 €	CNRS
	2009	RENVERSEZ Gilles	Continuum à Fibres Infrarouges Hautement Non Linéaires	ANR	13/10/2009	12/10/2012	63 232.00 €	63 232.00 €	UPCAM
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR								321 938.76 €	
Programmes et Financements	2005	ENOCH Stefan	PHOREMOST	Commission Européenne	01/02/2005	31/01/2009	30 491.00 €	36 467.24 €	UPCAM
	2006	NICOLET André	Thèse PAI-FRANCO britannique ALLIANCE	EGIDE	01/01/2006	31/12/2006	2 508.36 €	3 000.00 €	UPCAM
	2006	RENVERSEZ Gilles	Thèse PAI- Franco Espagnol PICASSO	EGIDE	01/01/2006	31/12/2006	2 800.00 €	2 800.00 €	UPCAM
TOTAL TTC PROGRAMMES ET FINANCEMENTS EUROPEENS								42 267.24 €	
Financements Autres Organismes Publics	2006	RENVERSEZ Gilles	Etude de nouvelles approches numériques pour la modélisation de fibres microstructurées	DGA	11/07/2006	10/01/2009	136 528.43 €	163 288.00 €	UPCAM
	2009	BONOD	Etude sur la conception de réseaux ILE	Institut Lumière Extrême - ENSTA	05/03/2009	04/03/2010	9 731.00 €	11 639.28 €	CNRS
	2010	BONOD Nicolas	Etude sur la conception de réseaux ILE	Institut Lumière Extrême - ENSTA	24/01/2011	25/01/2011	10 896.00 €	13 139.26 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								188 066.54 €	
Contrats Industriels	2008	RENVERSEZ Gilles	Simulation propriétés optiques	AGFA GRAPHICS NV	16/07/2008	15/07/2010	22 000.00 €	26 312.00 €	UP
	2009	RENVERSEZ Gilles	Capteurs infrarouges à fibres optiques innovantes appliqués au monitoring du stockage géologique du CO2	PERFOS	19/11/2009	18/12/2010	5 000.00 €	5 980.00 €	CNRS
	2009	TAYEB Gérard	Identification de concepts innovants bénéficiant des propriétés des matériaux BIP"	THALES ALENIA SPACE France	15/05/2009	14/05/2010	40 000.00 €	47 840.00 €	UPCAM
	2010	FEHREMBACH Anne-Laure	ELIT SYSTEMS	ADEME	2010?	?	56 496.96 €	67 570.36 €	CNRS
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								147 702.36 €	

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date de début du contrat	Date de fin du Contrat	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Autres Financements	2005	BONOD Nicolas POPOV Evgeni	Etude sur la technologie des réseaux de compression d'impulsion	CEA CESTA	26/10/2005	30/10/2006	12 000.00 €	14 352.00 €	UPCAM
	2007	BONOD Nicolas	Conception de réseaux de diffraction à base de silice	CEA LE BARP	26/10/2007	25/08/2008	4 000.00 €	4 784.00 €	UPCAM
	2008	BONOD Nicolas	Prestation CEA CESTA	CEA CESTA	07/03/2008	06/03/2009	3 520.00 €	4 209.92 €	CNRS
	2008	BONOD Nicolas	Optimisation des propriétés optiques et du seuil d'endommagement laser des réseaux de diffraction gravés sur miroir diélectriques déposés sur une couche d'or	CE LE BARP	06/11/2008	05/12/2009	9 000.00 €	10 764.00 €	CNRS
	2009	BONOD Nicolas	Etude : "Renforcement du champ proche optique et endommagement des réseaux mixtes métal-délectriques pour la compression d'impulsions	CEA CESTA	18/12/2009	17/12/2010	12 000.00 €	14 352.00 €	CNRS
TOTAL TTC AUTRES FINANCEMENTS								48 461.92 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE CLARTE								987 863.57	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

- ICB, équipe OCP (Dijon): financement commun (projet FANI de l'ANR) + publication soumise
- IEMN, équipe DOME (Lille): financement commun (projet FANI de l'ANR) + publication soumise
- IEF, département MMS (Orsay): financement commun (projet Magneto-phot de l'ANR) + 2 publications communes
- ESPCI (Yannick de Wilde) et EM2C (J.-J. Greffet): une publication commune
- Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, CNRS Toulouse: ANR Pnano FOREAC, et thèses et contrats en commun avec le CNES.
- Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS Marcoussis: ANR Pnano FOREAC.
- Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine, BP 2, 33114 Le Barp, France
- HORIBA Jobin Yvon, 16-18 rue du canal, 91165 Longjumeau cedex, France (contrat de collaboration démarré en 2010).
- Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaire, CNRS UMR 7006, Université Louis Pasteur, 8 allée G. Monge, 67000 Strasbourg, France
- Alcatel Alenia Space (Toulouse): relations contractuelles sur la conception d'antennes
- 2005 : Laboratoire des Verres et Céramiques, UMR CNRS 6226 (Université de Rennes). Etude des structures photoniques en verre de chalcogénure. Projet Chalcocapir "Capteurs chimiques pour le moyen infrarouge à base de fibres microstructurées en verres de chalcogénure". Contrat de la Mission des ressources et compétences technologiques du CNRS.
- 2005-2006 : Phlam/IRCICA (Université de Lille), étude des fibres microstructurées en silice à bandes interdites photoniques à coeur plein de type "Anti Resonant Reflecting Optical Waveguide". Collaborateurs: Géraud Bouwmans et Pr. Marc Douay.
- 2006 : PERFOS, étude des fibres microstructurées en verre de chalcogénure. Collaborateurs: Laurent Brilland, Nicholas Traynor, David Méchin.
- 2006-2007 : X-lim, UMR CNRS 6172 (Université de Limoges), étude de la transition du "second" mode dans des fibres microstructurées à coeur en silice. Collaborateurs: Dominique Pagnoux et Philippe Roy.
- 2007 : Institut Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 5027 (Université de Bourgogne), génération de supercontinuum dans l'infrarouge, et projet Chalcocapir "Capteurs chimiques pour le moyen infrarouge à base de fibres microstructurées en verres de chalcogénure". Contrat de la Mission des ressources et compétences technologiques du CNRS
- 2008 : FOTON, UMR CNRS 6082 (ENSSAT de Lannion), caractérisation des phénomènes nonlinéaires dans les fibres optiques.

- 2009 : FEMTO-ST, UMR CNRS 6174 (Université de Franche-Comté), solitons spatiaux dans des matériaux ayant une nonlinéarité de type Kerr.

■ INTERNATIONALES

- Prof. A.B. Movchan (Liverpool University) : 23 publications communes
- Prof. R. Craster (Imperial College London): 4 publications communes (codirection thèse de Samuel Adams, financement EPSRC)
- Prof. D. Bigoni (University of Trento): 1 publication soumise
- Prof. R.C McPhedran (Sydney University): 9 publications communes
- Prof. R. Quidant (ICFO Barcelona) : 2 publications communes
- Prof. S. A. Ramakrishna (Indian Institute of Technology, Kanpur): 7 publications communes (projet franco-indien CEFIPRA 3804-2)
- Dr. K. Cherednichnko (Cardiff University): 1 publication commune, 1 publication soumise
- Dr. M. Brun (University of Cagliari) : 1 publication commune, 1 publication soumise
- FOM Institute, AMOLF (Amsterdam) : 1 publication commune + 1 publication acceptée
- Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, China
- Optical and quantum Radiophysics Department, State University of Telecommunications, St. Petersburg 191186, Russia
- Electrical and Computer Engineering Department, University of Utah, 50 S. Central Campus Drive, Room 3280, Salt Lake City, Utah 84112, USA
- Valence (Espagne) : Collaboration (programmes Socrates et EGIDE Picasso) avec le Professeur A. Ferrando de l'Universitat de Valencia et avec le Professeur P. Fernandez de Cordoba Castilla de la Universidad Polytecnica de Valencia.
- Prof. C. Geuzaine (Université de Liège en Belgique au sein de l'Institut Montefiore) sur la modélisation par une méthode de type éléments finis de guides d'ondes ayant des nonlinéarités.
- Prof. W. Urbanczyk (Wroclaw University of Technology, Poland) sur l'utilisation des fibres optiques microstructurées dans les capteurs de gaz. Responsable français. (avec le soutien de l'académie des Sciences de Pologne)

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

- Organisation de la SSOP (Summer School On Plasmonics), 13-17 Septembre 2009, Iles de Porquerolles, France.
- Co-organisation du British Science Festival qui s'est tenu à Liverpool en Septembre 2008 (S. Guenneau).
- Organisation d'une session de la conférence Waves (EPSRC/INRIA) à l'Université de Reading en Juillet 2007 (S. Guenneau).

- Organisation d'une session du British Applied Mathematics Colloquium en mars 2008 à l'Université de Manchester (S. Guenneau).
- Participation au comité d'organisation et de lecture de plusieurs conférences internationales (IEEE Compumag, EPNC, EMF) (A. Nicolet).
- Co-présidence de "Nanophotonics, Metamaterials and Optical Microcavities" (EOS Annual Meeting 2006, Paris) (S. Enoch).

A venir :

- Présidence du comité d'organisation des Journées Nationales d'Optique Guidée dans le cadre d'Optique Marseille en juillet 2011 (G. Renversez).
- Organisation de la conférence internationale ETOPIIM 2012 à Marseille (par plusieurs membres de l'équipe CLARTE).
- Présidence du comité scientifique de Numélec, qui sera organisée à Marseille en 2012 (A. Nicolet).

■ PRIX ET DISTINCTIONS

Médaille de bronze du CNRS en 2006 décernée à Stefan Enoch.

■ MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX

Stefan Enoch est :

- membre du comité éditorial du Journal of Modern Optics depuis 2005,
- éditeur associé de la revue Optics Express de l'Optical Society of America depuis 2006.

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

- Conseillers scientifiques du CEA-DAM (Direction des Applications Militaires) : Daniel Maystre et Stefan Enoch.
- Experts à l'ANR : Evgueni Popov, Stefan Enoch.
- Membre élu du comité national de la recherche scientifique en section 08 : Stefan Enoch, mandat 2004-2008.
- Membre élu du conseil scientifique du département ST2I : Stefan Enoch, janvier 2008-octobre 2009.
- Membre du conseil scientifique du département ST2I : Boris Gralak, depuis février 2010.
- Membre du CNU en section 30 : Gilles Renversez
- Représentant de la France dans le Comité de Direction de l'Action COST MP0702 : Evgueni Popov, depuis 2008.
- Membre du comité scientifique du club Journées Nationales d'Optique Guidée : Gilles Renversez
- Membres du conseil de l'UFR Sciences et Techniques de l'Université Paul Cézanne : Gérard Tayeb 2004-2008, Gilles Renversez depuis 2008.

- Membre de la commission de Recherches de l'UFR de l'Université de Provence : Frédéric Zolla.
- Membre du CTP de l'université Paul Cézanne (Aix-Marseille 3) : Boris Gralak, depuis octobre 2008.
- Membre du CTP de l'Ecole Centrale Marseille : Jean Bittebierre.

Filières d'enseignement:

- Evgueni Popov: coordinateur lors de la création (en 2007) du parcours "Physique Appliquée et Instrumentation" en licence Physique-Chimie de l'université de Provence. Actuellement responsable pédagogique de ce parcours.
- Frédéric Zolla : responsable de la troisième année de Licence, mention Physique et Chimie (Université de Provence).
- Jean Bittebierre : membre du CE de l'Ecole Centrale Marseille.

La plupart des membres de l'équipe participe aux diverses commissions de recrutement au niveau local, ou en tant que membre extérieur dans les établissements nationaux.

Promotion des sciences:

- Nos recherches sur les capes d'invisibilité (que ce soit en électromagnétisme ou dans le domaine des ondes acoustiques ou sismiques) ont suscité de nombreuses interviews (journaux télévisés, radio, presse nationale, presse scientifique de vulgarisation). Voir la rubrique "médias".
- Sébastien Guenneau est également impliqué dans la promotion des sciences auprès des jeunes : visite d'écoles en Provence et dans le Nord-Ouest de l'Angleterre de Janvier 2006 à Juillet 2010 en tant que porteur de projet EPSRC "FunMaths Roadshow: UK-wide Roll-out". Il a traduit 200 puzzles mathématiques en français dans ce cadre, et compte poursuivre ces activités de visite des écoles primaires et secondaires dans la région marseillaise (en zone prioritaire d'éducation) avec le soutien du British Council à Paris.

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

- **BRIAN STOUT** : Septembre 2006 : "*Interaction de la lumière avec les milieux hétérogènes tridimensionnels*"
- **GILLES RENVERSEZ** : Décembre 2008 : "*Contribution à l'étude des fibres optiques microstructurées : méthodes numériques et résultats physiques*"
- **SEBASTIEN GUENNEAU** : Mars 2010 : "*Modèles multi-échelles pour les métamatériaux électromagnétiques et élastodynamiques*"
- **BORIS GRALAK** : Juin 2010 : "*Théorie, modélisation et métamatériaux en optique électromagnétique*"

THESES

■ EN COURS

7 doctorants en cours de thèse dans l'équipe.

■ SOUTENUES : 7

7 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

■ ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS

1 Italien, 1 Mauricienne, 1 Chinois, 1 Polonais, 1 Mauritanien, 1 Comorien, 8 Français

4 proviennent de l'Ecole Centrale Marseille

■ DEVENIR DES DOCTORANTS

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
G. BENELLI	Ingénieur	CommProve - Italie
P. BOYER	MCF	Université de Franche Comté - FEMTO-ST - France
F. DROUART	Ingénieur	Thalès Alenia Space - Toulouse - France
M. FARHAT	Post-Doc	Post Doc Texas University - USA
P. GODARD	Post-doc	Institut Fresnel - Marseille - France
Y. OULD AGHA	Post-doc	Université de Lille 1 - France
R. PIERRE	Ingénieur	Thalès Underwater Systems - Sophia Antipolis - France

AUTOEVALUATION DE CLARTE

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Strengths (Forces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipe formée de petits noyaux réactifs => adaptabilité. ▪ Proportion de chercheurs supérieure à la moyenne de l'institut. ▪ Reconnaissance internationale dans le domaine de la modélisation en optique électromagnétique (essentiellement tourné vers la nanophotonique aujourd'hui). ▪ L'équipe a su évoluer et se positionner sur les thèmes d'actualités. ▪ Un fort taux de publication y compris dans des revues à fort impact. 	Origine externe	<p style="text-align: center;"><i>Weaknesses (Faiblesses)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipe formée de petits noyaux réactifs => difficile à gérer, ou du moins à chapeauter. Difficile de fédérer l'équipe autour d'un grand projet. ▪ Pertes de compétences liées aux départs en retraite. L'équipe a reposé jusqu'alors sur des bases consolidées pendant des décennies. La tendance actuelle de résultats rapides et thématiques changeantes bouscule les habitudes de l'équipe. ▪ Perte progressive de la culture théorique. ▪ Perte progressive de l'aptitude à l'élaboration de codes.
Origine Interne	<p style="text-align: center;"><i>Opportunities (Opportunités)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plein de projets en cours ou en cours de montage (voir la partie "projet"). ▪ La nanophotonique comme partie des nanosciences et nano-technologies est une priorité nationale. ▪ Ouverture vers de nouvelles thématiques. ▪ Les efforts de développement de la technologie au sein de l'Institut Fresnel pourraient aboutir à une synergie importante. ▪ Collaborations inter-équipes efficaces. 	Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Threats (Menaces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Perte de la souplesse de gestion financière imposée par les tutelles qui notamment ne permet plus de prévoir des financements à long terme. ▪ Contraintes de plus en plus présentes imposées par les tutelles. ▪ Le temps passé à la "gestion de la recherche" devient préoccupant. ▪ Difficulté de recrutement de doctorants (désaffection de nos disciplines), et complexité du système d'affectation des bourses. Conséquence: recrutement de doctorants étrangers. ▪ Gestion des carrières.

PROJET CLARTE

Compte tenu du contexte de travail de l'équipe CLARTE présenté dans l'auto-analyse ci-dessus, nous n'envisageons pas de changement de grande envergure dans les orientations de l'équipe. L'expérience des années antérieures nous a montré que nous devons plutôt évoluer de manière à suivre les diverses contraintes administratives, de gestion, ou de politique scientifique qui nous sont imposées de manière extérieure, et il est très difficile d'anticiper sur ces points. Sur l'aspect scientifique, nous pensons que notre force réside dans l'exploitation de nos compétences, qui constitue une base de départ difficilement modifiable. Nous sommes une équipe à l'effectif relativement élevé, et nous avons toujours essayé de respecter et de stimuler l'indépendance de chacun des membres de l'équipe, que ce soit du point de vue scientifique ou du point de vue des moyens. Il serait donc illusoire (et maladroit?) de penser pouvoir conduire des changements de thématiques radicaux. Bref, il semble que le maître mot au cours des années à venir sera donc plutôt axé sur l'adaptation aux modifications du "paysage scientifique et de gestion" dans lequel nous évoluons, et à une continuité scientifique en perpétuelle évolution...

Ceci dit, nous avons un bon nombre de projets amorcés ou en cours de démarrage, et nous avons déjà du grain à moudre pour une bonne partie du quadriennal à venir. Nous listons par ailleurs ci-dessous quelques tendances ou réflexions qui nous guideront dans les années futures.

Au cours des dernières années, nous avons vu se développer dans l'équipe des travaux dans des domaines qui sembleraient a priori s'écarter de notre métier de base axé sur la photonique. C'est notamment le cas des travaux menés en acoustique et en mécanique. Bien entendu, le glissement vers ces thèmes est à la fois tout à fait justifié par la similitude des concepts et des équations, et très fécond au niveau des applications. Il est clairement un atout pour notre groupe, mais pourrait susciter à l'avenir une réorganisation, ou l'ouverture d'une thématique plus clairement mise en valeur.

En plasmonique, plusieurs projets sont à l'étude. Les absorbeurs optiques développés dans le cadre de la théorie des réseaux pourront être développés autour des nanoparticules. Nous étudierons également les modifications des propriétés radiatives d'émetteurs uniques comme des boîtes quantiques ou des molécules fluorescentes par les plasmons de surface. Enfin, nous développerons les derniers résultats obtenus dans l'équipe sur la cape d'invisibilité aux ondes plasmoniques.

Grâce aux méthodes numériques développées pour l'étude des fibres optiques microstructurées, nous avons pu déterminer des solutions vectorielles à des problèmes de guidage faisant intervenir une nonlinéarité de type Kerr optique. Il se trouve que ces méthodes peuvent servir de points de départ à l'étude des couplages entre plasmon et soliton optique. Ce nouveau sujet d'étude se trouve être à la confluence de trois thématiques passées ou actuelles de l'équipe: l'optique guidée, les nonlinéarités optiques, et la plasmonique. Des collaborations nationales et

internationales tant du point de vue théorique qu'expérimental vont démarrer ou sont en cours d'évaluation.

Les microsphères sont des composants pleins d'avenir de part leur simplicité et la richesse de leurs propriétés photoniques. Le quadriennal prochain devrait voir le développement du thème des microsphères pour d'autres applications, comme les nano-antennes.

Un travail de thèse vient tout juste de commencer, en collaboration avec la société SILIOS Technologies et l'équipe MAP2, sur le thème des filtres multi-spectraux dans l'infra rouge à base de matériaux structurés sub-longueur d'onde. Cette thèse tirera profit des avancées faites, lors du plan quadriennal écoulé, sur la modélisation de structures périodiques tridimensionnelles complexes par la méthode des éléments finis.

Nous avons développé ces dernières années des filtres extrêmement sélectifs basés sur des réseaux résonnants. Mais qui dit sélectivité extrême dit contraintes extrêmes sur la réalisation. Nous venons de commencer des études d'accordabilité des structures, de manière à pouvoir ajuster ces composants après la fabrication, en utilisant par exemple des matériaux actifs anisotropes (électro-optiques, magnéto-optiques, cristaux liquides,...).

Deux nouvelles collaborations sont en train d'être montées en association avec des entreprises de la région PACA.

- Une collaboration avec OPTIS, poursuivie conjointement avec le CEA dans le cadre de simulations multi-échelle de composants nano et micro-optique en se servant des moyens de calculs puissants offerts par l'exploitation de cartes graphiques.
- Une collaboration industrielle avec DIPTA concernant l'élaboration de nouveaux types d'écrans solaires.

Un projet ANR vient d'être déposé (acronyme MAGIC, programme BLANC) en collaboration avec l'IEF, le Groupe d'Etudes de la Matière Condensée, le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, et FEMTO-ST (Département d'Optique). Il a pour objectif la démonstration de composants optiques non-réciproques intégrés, et, contrairement aux solutions actuelles basées sur des éléments fonctionnant en espace libre, vise la réalisation de composants en technologie guidée. Il se base sur les résultats obtenus dans le cadre d'un précédent projet ANR (Magnéto-phot) et repose sur l'utilisation de matériaux magnéto-optiques. Il présente l'avantage majeur de fonctionner avec une aimantation uniforme du matériau, donc sans nécessiter le contrôle de parois de domaines magnétiques. Notre groupe intervient dans l'élaboration de méthodes numériques adaptées à la simulation du composant et à l'optimisation de ses performances.

Un projet ANR est en cours de montage. Il rassemblera des membres de l'équipe CLARTE (qui sera probablement porteuse du projet), le CEA LETI, l'UTT, l'IEMN. Il portera sur deux volets complémentaires: d'une part le développement d'un composant pour l'imagerie infrarouge, et d'autre part une étude des métamatériaux.

Enfin, des collaborations fortes sont en train de se tisser entre l'équipe CLARTE et le CEA LETI (Grenoble), pour le développement d'outils de modélisation en commun. Dans ce cadre, une thèse commune, intégralement financée par le CEA, débutera en 2010.

BILAN SCIENTIFIQUE GSM

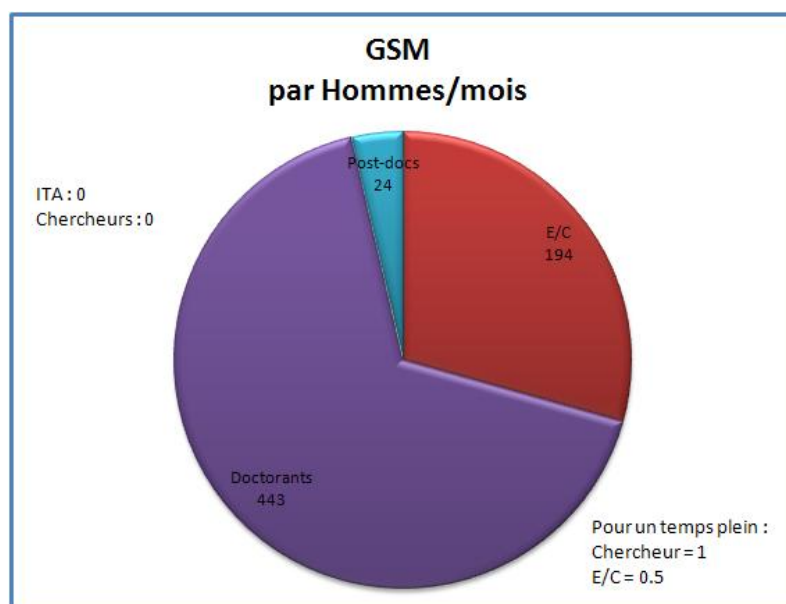
Responsable d'équipe : Salah BOURENNANE

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
ADEL Mouloud	MCF	UPCAM
BOURENNANE Salah	PR1	ECM
DERRODE Stéphane	MCF	ECMC
FOSSATI Caroline	MCF	ECM - (arrivée dans l'équipe : 01.01.09)
GAIDON Thierry	MCF	ECM
GUILLAUME Mireille	MCF HC	ECM
KHALIGHI Mohammad Ali	MCF	ECM
MAROT Julien	MCF	UPCAM (arrivée : 01.09.09)

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
CAILLY Alexis	Doctorant	2012
CHERMI M.A.	Doctorante	2010
HAN Dong	Doctorant	Septembre 2010
JAY Sylvain	Doctorant	2012
JIANG Haiping	Doctorant	2011
KHELIFI Riad	Doctorant	2011
LIU Xuefeng	Doctorante	2012
MOUSSAOUI Aïcha	Doctorante	Décembre 2010
SABATIER Romuald	Doctorant	Septembre 2010
XU Fang	Doctorant	Juillet 2010
YIN Yi	Doctorante	2011
ZHANG Yi	Doctorant	2012



194 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 16,16 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 3,6 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

Le traitement du signal multidimensionnel ou multi-composante est essentiel pour l'avancée d'un grand nombre de domaines scientifiques et techniques, relevant aussi bien de l'ingénierie des systèmes, que de l'observation des phénomènes naturels.

Les activités de l'équipe GSM (Groupe Signaux Multidimensionnels) de l'Institut Fresnel se déclinent principalement en trois thèmes visant à **développer et acquérir de la connaissance par des travaux tant théoriques qu'appliqués** autour de la théorie du signal et de l'image en liaison avec une connaissance de la physique des milieux étudiés.

Considérer les données multidimensionnelles comme un bloc d'informations non séparables est un véritable enjeu face à l'émergence de nouveaux types de capteurs (hyper spectraux, multi temporels, réseau de capteurs,...) si l'on veut pouvoir conserver et prendre en compte toute la richesse d'information à laquelle ils donnent accès. Au cours de ces quatre dernières années, forte de ses premiers résultats sur modélisation tensorielle des signaux, l'équipe GSM s'est attachée à développer des recherches fondamentales créant de nouvelles méthodes de traitement (filtrage, classification, détection...) pour ce nouveau type de représentation des signaux et des images. Les apports de ces nouvelles modélisations et méthodes de traitement, ainsi que leurs adaptabilités à des applications très variées ont été démontrés dans les récents travaux de l'équipe.

Ainsi, nous avons pu perfectionner très significativement certaines méthodes d'analyse du signal notamment au travers de techniques statistiques et algébriques.

Les applications développées concernent :

- l'imagerie radar, la microphotolithographie optique, l'imagerie multispectrale et hyperspectrale (soutenu par la DGA, le CNES, ST-Microelectronics et l'OTAN),
- l'imagerie médicale (avec le CHU de la Timone à Marseille),
- l'imagerie astronomique (avec le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille)
- la biométrie et reconnaissance de gestes (avec ST-Microelectronics, SAFRAN Morpho (Sagem), Kaolab et Intui-Sense),
- Les transmissions optiques aériennes à haut débit (avec Shaktiware, l'ONERA,...).

RESULTATS MARQUANTS

L'équipe GSM s'intéresse à la modélisation des systèmes physiques complexes, en termes de systèmes linéaires, et à l'utilisation de modèles pour réaliser des traitements optimaux en détection, localisation, estimation, classification et identification. Nos travaux de recherche sont fédérés par l'utilisation, dans les développements théoriques, de la connaissance que l'on peut avoir sur le système ou sur les signaux et images à traiter. Les études théoriques développées sont confrontées à des situations réelles par leur application sur des données expérimentales.

Trois thèmes de recherche, se dégagent ainsi des travaux de l'équipe, et ont volontairement des intersections importantes tant sur les plans de la méthodologie que de la mise en œuvre, si bien que l'ensemble des permanents de l'équipe apporte sa contribution sur les 3 thèmes :

- **Thème 1** : Traitement du signal tensoriel
- **Thème 2** : Traitement du signal multidimensionnel
- **Thème 3** : Détection, suivi, reconnaissance et interprétation dans les séquences vidéo

Ces thèmes sont développés pour des applications issues de modalités d'acquisition variées tels que les signaux acoustiques, les images vidéo, médicales, aériennes et astronomiques.

■ **THEME 1 : TRAITEMENT DU SIGNAL TENSORIEL**

Th1-1 : Filtrage du signal tensoriel : Modèles de Tucker et PARAFAC

Grâce à l'utilisation de nouveaux concepts d'algèbre multilinéaire, nous avons développé des méthodes originales de traitement du signal tensoriel. Des algorithmes de réduction de rang pour la compression, pour le débruitage d'images ou de séquence d'images couleur ont été proposés. Ces méthodes utilisent des opérateurs obtenus par des décompositions utilisant les modèles de Tucker et PARAFAC qui généralisent la décomposition matricielle. A chaque mode du tenseur est associé un projecteur ou un filtre construit à partir des vecteurs associés aux plus grandes valeurs propres de la dépliante suivant le mode considéré.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au **débruitage** et avons proposé une généralisation multidimensionnelle du filtre de Wiener, adaptée à

l'imagerie hyperspectrale par une prise en compte conjointe des dimensions spatiales et spectrale. Cette stratégie s'est avérée intéressante dans le cadre d'imagerie aérienne hyperspectrale, et conduit à de **meilleurs résultats en classification et détection** de cibles ou d'anomalies. Nous avons étudié l'**influence des directions de déploiement** du tenseur de données et proposé une méthode d'estimation des directions privilégiées de déploiement d'un tenseur, permettant de corriger les effets de ligne et de colonne sur les objets filtrés, améliorant ainsi le débruitage et la détection. Pour améliorer la classification nous avons développé des méthodes tensorielles pour la **réduction de dimensions**. Nous avons utilisé la décomposition basée sur le modèle de Tucker pour construire les différents opérateurs agissant à la fois pour réaliser le filtrage spatial et la réduction de dimension spectrale.

Ces travaux développés en particulier dans le cadre des **thèses** financées par la **DGA** de *Nadine Renard* (2008) et *Damien Letexier* (2008) sont en partie inclus dans les travaux d'HDR de Caroline Fossati et se poursuivent dans le cadre de celle d'*Alexis Cailly* (2012), ainsi que celle de *Xuefeng Liu* (2012) financée pour sa part par le gouvernement Chinois.

Principales **publications** : [186, 193, 209-215, 221, 229, 230, 232, 233]...

Th1-2 : Détection, démixage

Dans le cadre de la **détection non supervisée** (détection d'anomalies), nous avons développé deux approches, permettant d'utiliser l'ICA (analyse en composantes indépendantes) pour la détection d'anomalies avec un taux de fausse alarme constant, et ainsi de détecter et classifier les anomalies présentes, tout en obtenant des performances semblables à celles des algorithmes de détection supervisés.

Une autre problématique envisagée est le **démixage spectral**, qui est l'enjeu de nombreux travaux actuels. Il s'agit d'estimer conjointement le nombre de matériaux 'purs' présents dans la scène (endmembers), leurs spectres et leurs abondances dans chaque pixel spectral. Dans le cadre du modèle de mélange linéaire, nous avons choisi d'utiliser la factorisation en matrices positives (ou en tenseurs positifs), en proposant des méthodes de régularisation qui, par la prise en compte précise des propriétés des images hyperspectrales, permet d'améliorer notablement les résultats dans ce domaine, avec un temps de calcul raisonnable.

Ces travaux ont été développés dans le cadre des **thèses** financées par la **DGA** de *Jean Michel Gaucel* (2007) et *Alexis Huck* (2009) et se poursuivent dans le cadre de celle de *Sylvain Jay* (2012).

Principales **publications** correspondantes : [207, 236]...

Th1-3 : Reconstruction, optimisation : simulations industrielles

▪ **Reconstruction et estimation de paramètres en imagerie astronomique**

Dans le cadre du projet GALEX, en collaboration avec le LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), nous avons proposé une méthode d'estimation des flux d'objets faibles avec confusion spatiale dans l'UV, permettant de gagner une à deux magnitudes pour l'observation de ces objets. Cette méthode met en œuvre un algorithme de type EM (expectation-maximization), intégrant le modèle

d'observation, le modèle du bruit et la connaissance a priori sur les positions des objets. Elle reste rapide, car seuls les flux des objets sont estimés.

- **Masques avancés pour la photolithographie optique**

En microélectronique, les étapes de photolithographie (projection au travers d'un masque des motifs à graver sur le Silicium) sont cruciales et se complexifient avec la diminution de taille des composants (dimensions des motifs inférieures à la longueur d'onde d'éclairement). Les distorsions introduites par chaque élément de la chaîne d'illumination doivent être anticipées et compensées, c'est la finalité des Corrections Optiques de Proximité (OPC) indissociables d'une série de boucles de simulations-corrrections lourdes en termes de temps et de coût pour l'industrie. Pour améliorer ces étapes, nous avons établi une analogie avec le traitement du signal et une modélisation tensorielle des coefficients de transmission croisée du système optique (modélisé par les équations de Hopkins). L'adaptation de diverses méthodes développées en traitement du signal multidimensionnel a donné des résultats très satisfaisants qui montrent une nette amélioration tant en terme de qualité de reconstruction qu'en terme de temps de calcul.

Cette étude initiée en collaboration avec l'équipe MAP2 de l'Institut Fresnel et le soutien de la société *ST-Microelectronics* fait partie intégrante du travail de thèse Cifre de *Romuald Sabatier* (2010) et a contribué à l'HDR de Caroline Fossati.

Principales **publications** : [216, 218, 222] ...

- **THEME 2 : TRAITEMENT DU SIGNAL MULTIDIMENTIONNEL**

Th2-1 : Estimation par méthodes algébriques

- **Détection et localisation d'objets enfouis**

L'objectif de ces travaux est la détection et la localisation géographique des objets reposants sur le fond ou enfouis dans le sédiment marin. Ils ont abouti au développement d'une méthode originale pour l'estimation conjointe des paramètres (angles et distance) dans un environnement bruité et en présence de signaux corrélés. Les performances de cette méthode ont été évaluées sur des données réelles mesurées dans une cuve expérimentale (laboratoire LMA). La méthode proposée s'avère supérieure aux méthodes classiques en termes de résolution spatiale et d'estimation de la distance.

Ces recherches ont été menées en collaboration avec l'institut de recherche de *l'Ecole Navale* (Brest) et le *Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique* (Marseille). Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse de *Zineb Saidi* (2006), financée par l'école navale et de la thèse de *Han Dong* (2010) financée par le gouvernement chinois.

Principales **publications** : [188, 196, 217, 219, 234] ...

- **Détection et caractérisation d'objets dans une image**

Nous avons étendu nos précédents travaux dédiés aux contours rectilignes et approximativement rectilignes aux contours étoilés. Le principe de génération du signal sur une antenne circulaire virtuelle adopté nous a permis de lever un verrou

technologique qui limite les méthodes de type contour actif : retrouver des contours à forte concavités. Nous avons considéré plusieurs cas d'application comme la biométrie, et le contrôle non destructif.

Les contours flous sont souvent recherchés en traitement d'images. Nous avons proposé de les modéliser par une distribution de niveaux de gris. La même approche a été utilisée pour les caractériser. En particulier, un contour flou avec une distribution exponentielle peut être représenté avec trois paramètres estimés par des méthodes de traitement d'antenne. Une méthode d'optimisation est aussi considérée pour estimer un paramètre d'étendue. Des expériences prouvent finalement que les méthodes proposées estiment les paramètres de contours flous de façon précise et avec une charge de calcul réduite.

Ces travaux ont débuté dans le cadre de la **thèse** Région Entreprise de *Julien Marot* (2007) et se poursuivent avec celle de *Haiping Jiang* (2012) financée par le gouvernement Chinois.

Principales **publications** : [176-178, 194, 195, 197, 231, 237]...

Th2-2 : Méthodes statistiques de segmentation

▪ **Segmentation d'images médicales**

Dans le cadre de cette thématique, nous avons entamé un travail sur la segmentation, statistique basée sur une approche contours, avec une application à l'imagerie médicale. La formulation du problème part du constat de l'existence puis du besoin de détecter des objets filiformes dont les contours ne sont pas fermés. Ce type d'images concerne de nombreuses applications : images industrielles (inspection de surface : fissure, ..), images satellites (cartographie : localisation de routes,..) et images médicales (réseau vasculaire,..). Nous nous sommes attaché à la mise au point d'un algorithme de segmentation locale du réseau vasculaire rétinien, basé sur un "tracking" statistique. Le processus de détection est basé sur la localisation simultanée du contour et de la ligne médiane de la forme filiforme, en mettant en œuvre une modélisation de type Bayésienne. Les configurations étudiées sont celles concernant les vaisseaux linéaires simples, les bifurcations et les croisements. Les paramètres statistiques sont évalués au fur et à mesure du suivi du vaisseau et les points de contours détectés sont obtenus en construisant une fonctionnelle capable de tenir compte aussi bien de la distribution de niveau de gris des objets à détecter et de leur environnement mais également des caractéristiques géométriques du contour recherché. Plusieurs tests ont été effectués aussi bien sur des images simulées que sur des angiographies rétiniennes. Les paramètres d'ajustement de l'algorithme ont été optimisés pour obtenir un bon pouvoir de détection. Ces travaux seront poursuivis en enrichissant l'information statistique par l'ajout de paramètres géométriques afin de mieux caractériser les réseaux vasculaires dans les images médicales.

Parallèlement à ces travaux, nous nous intéressons à l'imagerie hyperspectrale à des fins d'aide au diagnostic médical. Ces images, issues de capteurs de plus en plus performants, véhiculent une quantité d'information importante, et posent le problème de l'acquisition et du traitement d'une telle masse de données. Dans ce cadre, plusieurs problématiques ont retenu notre attention :

- La réduction de dimension par la sélection de bandes en utilisant l'information mutuelle

- La segmentation hyperspectrale en associant l'information spatiale et spectrale par l'utilisation d'opérateurs d'analyse de textures multidimensionnelles.

Les applications potentielles de ces travaux sont nombreuses notamment dans le diagnostic et le suivi des cancers de la peau ainsi que dans l'exploration de la surface rétinienne.

Ces recherches ont données lieu à l'HDR de Mouloud Adel et sont développées dans le cadre des **thèses** de Yi Yin (gouvernement chinois et Riad Khelifi (CNRS-Région). Elles font l'objet de collaborations avec le **CHU de la Timone**.

Principales **publications** : [176, 181, 187, 189, 190, 198, 227, 235]...

▪ **Segmentation statistique d'images satellitaires :**

L'imagerie satellitaire procure une source sans cesse renouvelée de problématiques originales, en particulier à cause du nombre et de la diversité des capteurs imageurs mis en orbite ces dernières années. L'augmentation de la résolution spatiale, de la résolution spectrale et de la résolution temporelle, génèrent de nouvelles problématiques ainsi que des nouvelles applications. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à la détection de changements lors de catastrophes naturelles (coulée de lave au Congo), d'une part en proposant un modèle de chaîne de Markov floue, et d'autre part, en développant une méthode originale d'estimation locale des paramètres permettant de prendre en compte des non stationnarités dans l'image. Nous nous sommes également intéressés à la détection de nappes d'hydrocarbure dans des images radar de la surface des océans. Pour cela, nous avons développé une méthode de segmentation multi-échelle basée sur un modèle vectoriel de chaîne de Markov cachée, pour lequel les lois d'attache aux données adaptées aux coefficients d'ondelettes sont construites à l'aide de copules. Nous avons également étudié la pertinence d'augmenter la mémoire du processus markovien pour la détection de nappes.

Principales **publications** : [180, 182, 183, 200-202 + HDR Stéphane Derrode]...

Th2-3 : Télécommunications optiques aériennes (FSO, Free Space Optics)

FSO est une technologie récente qui utilise les faisceaux optiques pour une transmission entre deux points en vis à vis. Les recherches menées à ce jour dans l'équipe GSM portent sur l'optimisation des techniques de traitement du signal dans ces systèmes. Plus particulièrement, nous nous sommes intéressés aux aspects de diversité, de modulation optique et de codage correcteur d'erreur dans les conditions particulières de turbulences atmosphériques. Concernant les techniques de diversité, nous avons étudié l'utilisation des codes correcteurs d'erreur et de l'entrelacement pour bénéficier de la diversité temporelle. Nous avons également étudié l'impact de la diversité spatiale quand on utilise plusieurs lentilles au récepteur. Nos études ont montré qu'une amélioration très importante des performances du système peut être obtenue en pratique. Les aspects d'implémentation de ces techniques ont également été pris en compte.

En ce qui concerne la modulation, nous avons considéré l'utilisation de la modulation par position des impulsions (PPM) au lieu de la modulation simple de tout-ou-rien (OOK). Après avoir démontré les avantages de la PPM par rapport à

OOK, nous nous sommes intéressés à l'aspect du codage canal. Afin d'obtenir une méthode de codage efficace avec une complexité raisonnable de décodage au récepteur, nous avons proposé d'utiliser un code convolutif binaire et de procéder au décodage et démodulation itératif à la réception. Nous avons montré que cette technique offre des performances très prometteuses.

Un autre volet de nos recherches a porté sur l'utilisation de deux longueurs d'onde proches à l'émission et la détection en mode différentiel à la réception dans le but de réduire le bruit de fond de façon significative dans les récepteurs FSO.

Ces travaux font partie intégrante du *projet LOHM* (Liaison Optique Haut débit entre un Mobile et une station fixe) du pôle de compétitivité Photonique (POP-Sud), et ont été menés en étroite collaboration avec nos partenaires industriels *Shaktiware* et *ONERA-Châtillon*. Ils ont été en partie développés dans le cadre de la **these** de Fang Xu (2010) et se poursuivent dans le cadre de celle de Yi Zhang (gouvernement Chinois).

Principales **publications** : [192, 220, 225, 226]...

■ **THEME 3 : DETECTION, RECONNAISSANCE ET INTERPRETATION DANS LES SEQUENCES VIDEO**

Les activités de recherche développées autour du thème de l'analyse des séquences vidéo se déclinent autour du thème fondamental de la poursuite d'objets d'intérêt dans des séquences vidéo, qu'elles soient mono ou stéréoscopiques.

Th3-1 : Poursuite de formes dynamiques dans les séquences vidéo :

Nous avons proposé une extension de l'algorithme des *snakes* pour qu'il intègre un *a priori* géométrique (modèle) sur la forme à détecter. Nous avons ensuite étendu ce principe à la poursuite d'objets dans des séquences mono et stéréo calibrées, en y intégrant un mécanisme d'adaptation dynamique du modèle au cours de la poursuite. Très récemment, une adaptation de la méthode aux *level sets* a pu être proposée.

D'autre part, nous avons développé une méthode de poursuite de forme qui modélise l'objet d'intérêt non pas par des attributs géométriques mais par sa couleur grâce à un mélange de lois multidimensionnelles non gaussiennes (modèle paramétrique avec copule). Ce nouveau modèle a été évalué en surveillance vidéo couleur et pour la biométrie dynamique de l'iris dans une séquence vidéo basse résolution

Ces travaux initiés dans le cadre d'une collaboration avec la société *ST Microelectronics* ont fait l'objet de la thèse Cifre *William Ketchantang* (2008), et font partie de l'HDR de Stéphane Derrode. Les derniers résultats ont été obtenus dans le cadre de la **thèse** de *M.-A. Chermi* (2010).

Principale **publication** : [206]

Th3-2 : Reconnaissance de geste

Ce travail a consisté dans un premier temps à remplacer le fonctionnement d'un écran tactile par un système de vision stéréoscopique suivant, en temps réel, le mouvement de la main et des doigts à partir de leurs projections dans les images,

avant d'en reconnaître la posture. Ces activités ont été soutenues par la société **ST Microelectronics**. Dans le cadre de la **thèse** de *Simon Conseil* (2008).

Actuellement, une collaboration se poursuit avec la société Intuisense (Aubagne) visant à développer une nouvelle interface sans contact de communication homme machine, avec pour objectif de contribuer à la convergence de différents médias comme le web, les mobiles, les bornes interactives, l'affichage dynamique...

CONCLUSION

Durant ces quatre dernières années, l'équipe a su s'imposer comme un des leaders sur la scène internationale dans le domaine du traitement du signal tensoriel en développant des méthodes nouvelles basées sur les concepts d'algèbre multilinéaire. La particularité de cette approche est la possibilité d'une prise en compte de la réalité physique des différents phénomènes étudiés, ce qui a permis la diversification des secteurs d'application avec des résultats toujours concluants. En particulier, dans le domaine de l'imagerie hyperspectrale, nos travaux sur le débruitage, la classification et la détection font office de référence.

Parallèlement, l'équipe a conforté sa notoriété en termes de traitement du signal multidimensionnel, que ce soit dans les domaines des méthodes algébriques ou des méthodes statistiques de segmentation. Ces types de traitement ont été appliqués avec succès respectivement à la détection d'objets et la segmentation d'images aériennes et médicales en particulier.

La pluridisciplinarité de l'équipe nous a permis une approche innovante dans le domaine des télécommunications, sachant tirer simultanément le meilleur parti des techniques hertziennes classiques et des nouvelles techniques d'optiques aériennes. Leur optimisation conjointe a ainsi permis des avancées considérables en terme de débit et de performance pour les systèmes de communications optiques aériennes, y compris en présence de turbulences atmosphériques.

Le nombre de publications (*64 articles de revue*), les brevets (*4*), les conférences (*67 conf. internationales dont 4 invitées*), les HDR (*3*), et thèses soutenues (*10*) durant ces 4 dernières années avec le soutien affiché d'organismes tels que la DGA, l'OTAN... et de nombreux industriels aussi bien régionaux (Shaktiware, Intuisense...) que multinationaux (ST Microelectronics, Sagem...) de même que la forte implication des membres de l'équipe dans les instances et groupes organisationnels de la vie scientifique, sont la vitrine de la qualité des travaux de l'équipe, de son dynamisme, et de son large rayonnement dans ses domaines de prédilection.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

■ PUBLICATIONS

En bref :

ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	64
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>).....	4
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	44
ACTN (<i>Communications avec actes dans un congrès national</i>)	19
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	4
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>).....	5
DO (<i>Directions d'ouvrages ou de revues</i>)	2
B (<i>Brevets, licences, logiciels</i>)	4
M (<i>Médias</i>)	3

■ MEDIAS

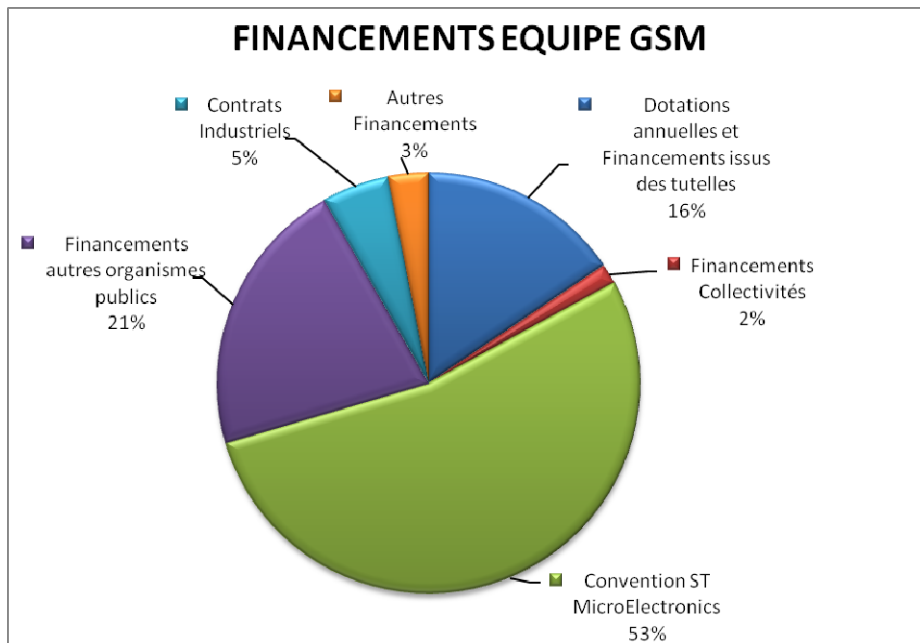
- [M-1] "Souriez vous êtes identifiés" : **Journal du CNRS** - N°225 - Octobre 2008 (<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/4074.htm>) Enquête : ce que va changer le numérique
- [M-2] **Faits marquants du CNRS 2009** en Sciences et technologies de l'information et des systèmes : "Un Système d'indentification par analyse de l'iris. Détection, suivi, reconnaissance et interprétation dans les séquences vidéo" (<http://www.cnrs.fr/insis/recherche/faits-marquants/2009/iris.htm>)
- [M-3] **Reportage TF1** : réalisé par L. Romanens (Grand reporter TF1). 21 décembre 2008 (JT de 13h),

■ TRANSFERTS DE TECHNOLOGIE

- **Biométrie** : Les résultats obtenus dans le cadre de la collaboration avec ST Microelectronics en termes de suivi et reconnaissance d'iris (Thèse de W. Ketchantang) ont été brevetés et mis en application dans les produits proposés par la société.
- **Interface Homme Machine** : Les techniques développées en reconnaissance de gestes (Thèse de S. Conseil) ont été transférées au niveau des entreprises partenaires (ST Microelectronics - 3D feel-Intuisense)

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE GSM	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	76 036,83 €
Financements Collectivités	7 490,00 €
Convention ST MicroElectronics	268 816,00 €
Financements Autres Organismes Publics	104 672,00 €
Contrats Industriels	25 116,00 €
Autres Financements	15 000,00 €
TOTAL	489 640.83 €



Bilan financier détaillé de l'équipe GSM

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		7 239.13 €	CNRS
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	8 387.83 €	10 031.84 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		1 803.94 €	UP
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		7 560.00 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	7 560.00 €	9 041.76 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	7 380.00 €	8 826.48 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		917.72 €	UP
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	8 610.11 €	10 297.69 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		6 193.32 €	ECM
	2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	9 840.16 €	11 768.83 €	CNRS
	2010	DERRODE Stéphane	Financement ADVITUN - Collaboration Tunisie	CNRS	01/04/2010	31/12/2010	1 970.00 €	2 356.12 €	CNRS
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES								76 036.83 €	
Financements Collectivités	2004	BOURENNANE Salah	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	22/07/2004	21/07/2006	117 000.00 €	139 932.00 €	UPCAM
	2005	BOURENNANE Salah	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	22/07/2005	21/07/2007	49 500.00 €	59 202.00 €	UPCAM
	2006	BOURENNANE Salah	liaison optique haut débit entre un mobile et une station fixe. LHOM	CONSEIL REGIONAL PACA	11/12/2006	10/12/2011	2 500.00 €	2 990.00 €	CNRS
	2008	FOSSATI Caroline	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	23/04/2008	30/03/2009	52 000.00 €	62 192.00 €	UPCAM
	2008	ADEL Mouloud	BREMMEX 2008 - Coopération Scientifique Internationale : Imagerie multimodale pour l'aide au diagnostic médical - Application à la fusion X/TEP	CONSEIL REGIONAL PACA	30/07/2008	29/07/2013	2 500.00 €	2 500.00 €	Ecole Centrale Marseille
	2008	DERRODE Stéphane	BREMMEX 2008 - Reconnaissance biométrique de l'iris par l'analyse de séquences vidéo (Tunisie)	CONSEIL REGIONAL PACA	30/07/2008	29/07/2013	1 672.24 €	2 000.00 €	UPCAM
TOTAL TTC FINANCEMENTS COLLECTIVITES								268 816.00 €	
Financements Autres Organismes Publics	2008	BOURENNANE Salah	Etude sur la réalisation d'une plateforme pour la caractérisation de contours multiples et applications industrielles	DGA	11/01/2008	10/01/2009	52 000.00 €	62 192.00 €	CNRS
	2009	ADEL Mouloud	CERES-contribution à la Construction de l'Espace euro-méditerranéen de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur	Université de la Méditerranée	01/10/2009	30/09/2012	17 489.97 €	20 918.00 €	UPCAM
	2009	DERRODE Stéphane	CERES-contribution à la Construction de l'Espace euro-méditerranéen de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur	Université de la Méditerranée	01/09/2009	31/08/2012	18 028.43 €	21 562.00 €	ECM
TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								104 672.00 €	
Contrats Industriels	2007	BOURENNANE Salah FOSSATI Caroline	Etude des interactions entre les masques traités par algorithmes RET, les conditions de photolithographie et la réponse des géométries sur plaquette, pour Technologies inférieures à 0,13um	CIFRE ST MICRO	13/07/2007	12/07/2010	21 000.00 €	25 116.00 €	UPCAM
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								25 116.00 €	
Autres financements	2008	BOURENNANE Salah	Etude d'analyse et de traitement d'images Sonar à Synthèse d'Ouverture fournies par le NURC réalisée par l'Institut Fresnel	NATO NURC OTAN	14/01/2008	13/10/2009	15 000.00 €	15 000.00 €	ECM
TOTAL TTC AUTRES FINANCEMENTS								15 000.00 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE GSM								489 640.83 €	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

- **LMA** : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
 - ↳ Programme Pluri Formation **PPF 2007-11** Imagerie Médicale Institut **Fresnel - GSM** (S. Bourennane) / **LMA** : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (Serge Mensah)
- **LISTIC/Université de Savoie** (E. Trouvé)
- **ITI/ENST Bretagne** (G. Mercier)
- **GIPSA-lab, Grenoble**, Equipe Communication, Signal et Sécurité,
 - ↳ Collaborations diverses, organisation de journées GDR ISIS (S. Derrode)
 - ↳ Contrat d'études GDR ISIS & CNES, 2006 CArtophographie des CHAngements Naturels par Télédétection (CACHANT).
- **IRENAV - Ecole navale de Brest**
 - ↳ thèse Z. Saidi (S. Bourennane)
- **Laboratoire d'imagerie médicale**, CHU la Timone Marseille
 - ↳ Collaboration régulière, publications en commun (M. Adel, S. Bourennane)
- **IFREMER Toulon** (P. Leon)
 - ↳ Thèse débutant en mai 2010 (S. Bourennane, C. Fossati, A. Khalighi)
- **Universités de la Méditerranée** }
- **Université de Nice** }
- **Université de Toulon**
 - ↳ programme ARCUS-CERES 2009-2012 (S. Derrode, S. Bourennane, M. Adel)
- **IETR** Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, Rennes
- **LSS** Laboratoire des Signaux et des Systèmes, SUPELEC-UPS, Gif-sur-Yvette
- **GIPSA-lab** Equipe Communication, Signal et Sécurité, Grenoble
 - ↳ Collaborations régulières, publications en commun (A. Khalighi, S. Bourennane...)

■ INTERNATIONALES

Publications communes et encadrement de thèse avec :

- **Tunisie** (S. Derrode)
 - **ENSI** Tunis, *F. Ghorbel*
 - **SUP'COM** A. Benazza
- **Allemagne** (S. Bourennane, J. Marot)
 - **Fraunhofer Institute** of Integrated Circuits, *K. Spinler, T. Wittenberg...*
- **Algerie** (S. Bourennane, M. Adel)
 - **Laboratoire Signal et Communications**, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, *L. Hamami...*

Echanges Scientifiques réguliers et publications communes :

- **Canada** (M. Khalighi, S. Bourennane)

- Institut National de la Recherche Scientifique (INRS) - Énergie, Matériaux et Télécoms, Montréal

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

Organisation

- **TAIMA** : "Traitement et Analyse de l'Information, Méthodes et Applications" conférence qui se tient tous les deux ans à Hammamet (Tunisie) depuis 1999 (Prés. : F. Ghorbel et J.-P. Haton).
 - *S. Derrode co-organisateur, membre des comités de programme et de pilotage (2007-09)*
 - *S. Bourennane, membre du comité de programme (2007-09)*
- **Journées Gdr-Isis** : "Détection de changements en télédétection" du 4 avril et du 24 novembre 2006 <http://gdr-isis.org/cachant/>
 - *S. Derrode co-organisateur* avec E. Trouvé (LISTIC/Université de Savoie) et G. Mercier (ITI/ENST Bretagne)
- **ACIVS**: "Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems" à Juan les Pins octobre 2008
 - *S. Bourennane, co-organisateur* avec Jacques Blanc-Talon, Wilfried Philip, Dan Popescu, Paul Scheunders

Participation aux comités de programme

- **JIEEEEC 2011** : 7th Jordanian International Electrical and Electronics Engineering Conference
 - *S. Bourennane membre du comité de programme*
- **ACIVS**: "Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems"
 - *S. Bourennane membre du comité de programme (2007-08-09-10)*
- **LVA-ICA** "9th International Conference on Latent Variable Analysis and Signal Separation"
 - *S. Bourennane membre du comité de programme (2010)*
- **SIP 2009** : Signal Image Processing International Symposium
 - *S. Bourennane membre du comité de programme*
- **VISAPP** : "International Conference on Computer Vision Theory and Applications" (2007-08-09)
 - *S. Bourennane membre du comité de programme*
- **EUSIPCO** : "European Signal Processing Conference"
 - *S. Bourennane membre du comité de programme (2008-09-10)*
- **IEEE-GCC** -Communications and Signal Processing (Kuwait city mai 2009)
 - *S. Bourennane et M. A. Khalighi membres du comité de programme*
- **QBSC** (Queen's Biennial Symposium on Communications), Kingston, Canada,
 - *S. Bourennane membre du comité de programme (2008--10)*
 - *M. A. Khalighi membre du comité de programme (2008)*

■ PRIX ET DISTINCTIONS

- M. A. Khalighi : "Senior Member" de la société IEEE, membre de la société IEEE Communication Society
- S. Bourennane : "Senior Member" d'EURASIP (European Association for Signal Processing)

■ MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX

- **IJISIP** : International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition.
 - S. Bourennane : *Editorial board*

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

■ MEMBRES DE L'EQUIPE EXERÇANT DES FONCTIONS DE RESPONSABILITE ET/OU DE DIRECTION :

- *Salah Bourennane* :
 - **Responsable de l'équipe GSM** de l'Institut Fresnel
 - **Directeur de la Recherche de l'Ecole Centrale Marseille (ECM)** (janv. 2004-janv. 2010)
 - Responsable du Master-Recherche Optique, photonique, Traitement du signal et Image de l'ECM (depuis sept. 2007)
 - Co-responsable du parcours de génie disciplinaire "MicroSystème Avancés" 3^{ième} année de l'ECM (depuis sept. 2002)
- *Mouloud Adel* :
 - Co-Directeur des Etudes de la licence Professionnelle, Systèmes Automatisés et Réseaux Industriels (2007)
- *Caroline Fossati*
 - **Directrice des Etudes Doctorales de l'ECM** (sept. 2005 – janv. 2010)
 - Responsable de la filière métier de 3A-ECM: "*Recherche et Développement*" (depuis 2006).
 - Co-responsable du parcours de génie disciplinaire 3A de l'ECM: "*MicroSystèmes Avancés*" (depuis 2009).
- *Thierry Gaidon*
 - Directeur des études de 1A et 2A de l'ECM (2004 -2007)
 - **Directeur Adjoint de l'Ecole Centrale Marseille** (sept.2007 – juin 2009)
 - Administrateur Provisoire de L'ECM (juil. 2009 – nov. 2009)
 - Directeur Délégué à la démarche qualité de l'ECM (depuis déc. 2009)
- *Mireille Guillaume*
 - Responsable du groupe thématique pédagogique "Physique Appliquée" de l'ECM (2006-2009)

■ **PARTICIPATION A DES CONSEILS, COMMISSIONS ET COMITES :**

- Ecole Centrale Marseille

Comité de Direction

- *Salah Bourennane* (2004 -2010)

Conseil d'Administration

- *Salah Bourennane* (Membre élu 2004 -2008)
- *Caroline Fossati* (Membre élu depuis 2008)

Conseil Scientifique

- *Salah Bourennane* (Membre élu depuis 2004, vice président de janvier 2004 à janvier 2010)
- *Mireille Guillaume* (Membre élu depuis 2008)

Comité Technique Paritaire

- *Salah Bourennane* (Nommé de janvier 2004 à janvier 2010)

Commission Paritaire d'Etablissement

- *Salah Bourennane* (Nommé de janvier 2004 à janvier 2010)
- *Caroline Fossati* (Nommée depuis 2004)

Comité d'Hygiène et Sécurité

- *Salah Bourennane* (Nommé de janvier 2004 à janvier 2010)

- Conseil de Laboratoire de l'Institut Fresnel

- *Salah Bourennane* (Membre élu depuis 2001)

- Ecoles Doctorales

- *Caroline Fossati* : membre du conseil de l'ED **352** "Physique et Sciences de la Matière" (2008-2010)
- *Salah Bourennane* : membre des conseils des ED **184** "Math-Info" et ED **251** "Sciences de l'Environnement" (2004 -2010)

- ARCSIS (Association pour la Recherche sur les Composants et Systèmes Intégrés Sécurisés)

Conseil d'Administration : *Caroline Fossati* (membre depuis 2008)

Conseil Scientifique : *Salah Bourennane* (membre depuis 2008)

- Commission Pédagogie du Pole de compétitivité SCS (Solutions Communicantes Sécurisées)

- *Caroline Fossati* (depuis 2006)

- Comité de Pilotage du programme ARCUS-CERES

- *Stéphane Derrode* (membre depuis 200X)

- Mastère spécialisé TPM: "Technologie et Management de la Production en Microélectronique" (co-accréditation ECM - ENSMSE - ST Université par la CGE)

Conseil d'Administration

- *Caroline Fossati* (Membre 2006-2009)
- *Salah Bourennane* (Membre 2007-2009)

Conseil Pédagogique

- *Caroline Fossati* (Membre 2006-2009)
- *Mohamad-Ali Khalighi* (Membre 2007-2009)

■ **PARTICIPATION A DES COMITES D'EXPERTS OU COMITES D'EVALUATION :**

- Commissions de spécialistes et comités de sélection

- Commission de **Spécialistes Pluridisciplinaire de l'ECM** (2004-2008)
 - *Salah Bourennane* : membre élu (2004 -2008)
 - *Mireille Guillaume* : membre élu (2004 -2008) vice -présidence (2006 - 2008)
- Commission de **Spécialistes de l'Université Paul Cézanne** (jusqu'en 2008)
 - *Mouloud Adel* : membre élu de la commission 61-27 jusqu'en 2008
- **Comités de Sélection de l'ECM**
 - *Salah Bourennane* campagnes 2009 (présidence) et 2010, section 26, 63-30
- **Comités de Sélection de l'Université Paul Cézanne**
 - *Mouloud Adel* campagne 2009 et 2010, section 61
 - *Salah Bourennane* campagne 2009, section 61
 - *Mireille Guillaume* campagne 2009, section 61
 - *Caroline Fossati* campagnes 2008 et 2009, section 63
- **Comités de Sélection de l'Université du Sud Toulon Var**
 - *Salah Bourennane* campagnes 2009 et 2010, section 61
 - *Caroline Fossati* campagne 2009, section 61

- Comité de rédaction (reviewer) de revues et conférences

- **IEEE- Image Processing** : *Salah Bourennane*
- **IEEE-Signal processing** : *Salah Bourennane*
- **IEEE-Signal Proc. letters** : *Salah Bourennane*
- **IEEE Communications Letters** : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **IEEE- Geoscience and Remote Sensing Letters** : *Salah Bourennane*
- **IEEE Transactions on Signal Processing** : *Mohamad-Ali Khalighi , Mouloud Adel*
- **IEEE Transactions on Vehicular Technology** : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **IEEE Transactions on Communications** : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **IEEE Transactions on Wireless Communications** : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **IEEE Transactions on Information Theory** : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **IEEE Transactions on Circuit And Systems** : *Salah Bourennane*
- **IEEE Transactions on Medical Imaging** : *Mouloud Adel*
- **IEEE-Transaction on Geoscience and Remote Sensing** : *S. Bourennane, M. Guillaume*
- **Signal Processing** : *Salah Bourennane*
- **Pattern recognition** : *Salah Bourennane*
- **Pattern Recognition Letters** : *Mouloud Adel*
- **Journal on advances in Signal processing** : *Mouloud Adel*
- **EUSIPCO** : European Signal Processing Conference : *Salah Bourennane, Caroline Fossati, Mohamad-Ali Khalighi*

- **ACIVS** : Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems : *Salah Bourennane, Caroline Fossati*
- **IEEE-GCC** -Communications and Signal Processing : *Salah Bourennane, Caroline Fossati, Mohamad-Ali Khalighi*
- **MED'10** : Mediterranean Conference on Control and Automation 2010 : *Caroline Fossati*
- **ICC** : International Communications Conference : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **PIMRC** : IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications : *Mohamad-Ali Khalighi*
- **QBSC** : Queen' Biennial Symposium on Communications : *Mohamad-Ali Khalighi*

- Expertise de dossiers

- *Mouloud Adel* :
 - Expertise d'un dossier d'ANR Programme Emergence
- *Salah Bourennane* :
 - Evaluation des projets ANR (2008-2009).
- *Stéphane Derrode* :
 - Expertise d'un dossier de candidature dans le cadre du programme - Concepts, Systèmes et Outils pour la Sécurité Globale- de l'ANR (Patrick Lallement, Univ. de Troyes), 2009.
 - Évaluation d'une demande de financement auprès du conseil Régional d'Aquitaine, 2007.

- Jury de thèses et d'HDR (outre celles encadrées)

- *Salah Bourennane* : en qualité de rapporteur ou de Président de jury
 - environ 10 jurys de Doctorats/ an
 - en moyenne 2 jurys d'HDR /an
- *Mouloud Adel*
 - Thèse *Damien Letexier*, le 23 septembre 2009 à l'UPCAM
 - Thèse *Pascal Kilian*, le 28 septembre 2009 à l'UPCAM
- *Stéphane Derrode* :
 - Thèse *Simon Conseil*, le 13 mars 2008 à l'UPCAM
 - Thèse *Jérôme Lapuyade-Lahorgue*, le 10 déc. 2008 à Télécom Sud-Paris.
- *Caroline Fossati*
 - Thèse *Yannick Caulier* Erlangen Nürnberg Universität-Fraunhofer IIS - UPCAM - Institut Fresnel - Erlangen 16/06/08
 - Thèse *Lionel Martin* - UPCAM - Institut Fresnel - Marseille 18/12/10

■ PARTICIPATION A DES MANIFESTATIONS POUR LA PROMOTION DE LA SCIENCE :

- *Salah Bourennane / Caroline Fossati*
 - Organisation du **CRIEC** : Colloque Recherche de l'Intergroupe des Ecoles Centrales (regroupe tous les ans dans une des écoles du groupe, les doctorants des laboratoires rattachés aux 5 Ecoles Centrales) à Marseille en 2005

- Journées recherche annuelle de l'École Centrale Marseille (organisation d'un forum de mise en contact des élèves et des laboratoires de l'école + conférences)
 - Journée d'échange international avec les laboratoires de l'ECM : Franco-italienne, Franco-canadienne, Franco-allemande
- **MEMBRES DE L'ÉQUIPE BÉNÉFICIAIRE D'UNE PEDR OU PES :**
 - Mouloud Adel,
 - Salah Bourennane,
 - Stéphane Derrode,
 - Caroline Fossati,
 - Mohamad-Ali Khalighi.

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

3 HDR soutenues sous la direction de S. Bourennane :

- **STEPHANE DERRODE** : Avril 2008 : "*Contributions en segmentation statistique d'images et reconnaissance de formes 2D*", qualifié aux fonctions de PU en 61^{ème} section
- **MOULOUD ADEL** : Juillet 2008 : "*De l'image industrielle à l'image médicale : analyse de texture, débruitage et segmentation*", qualifié aux fonctions de PU en 61^{ème} section
- **CAROLINE FOSSATI** : Novembre 2008 : "*Optique pour la Microélectronique : du capteur au traitement de l'image*", qualifiée aux fonctions de PU en 61^{ème} et 63^{ème} sections

THESES

- **EN COURS**

12 doctorants en cours de thèse dans l'équipe.

- **SOUTENUES**

12 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

Sur les 24 doctorants comptés dans l'équipe depuis 2006, 15 sont issus d'Écoles d'Ingénieur : 9 de l'École Centrale Marseille, 2 de l'INPG, 1 de l'ISITV, 1 de l'ENSI Tunis, 2 de l'École Polytechnique d'Alger ; et 8 sont issus de l'Université : 1 du

master de l'Université Paris VI, 1 de l'Université de Corté, 1 de l'Université de Rennes, et 5 d'Universités Chinoises. 1 industriel ST a aussi passé sa thèse durant cette période.

Différentes nationalités sont représentées parmi eux : 13 sont de nationalité Française, 6 de nationalité Chinoise, 2 Algériens, 1 Tunisien, 1 Marocain et 1 Russe.

■ **DEVENIR DES DOCTORANTS**

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
I. BLAGOUCHINE	Post doc.	Eurecom - Sophia - France
L. MARTIN	Ingénieur	ST Microelectronics -Rousset - France
A. HUCK	Ingénieur	Magellium -Toulouse - France
D. Letexier	Ingénieur R&D	Photonis - Brive - France
N. RENARD	Chercheur	ONERA - Salon de Provence - France
Y. CAULIER	Chercheur	Fraunhofer Institut IIS -Erlangen - Allemagne
S. CONSEIL	Chercheur	OAMP -Marseille - France
W. KETCHANTANG	Ingénieur	Sagem -Paris - France
J. MAROT	MCF	Université P. Cézanne - Marseille - France
JM. GAUCEL	Ingénieur	Thales Alinea space - Sophia - France
M. BOURI	Ens. Chercheur	Université Concordia - Canada
Z. SAIDI	ATER	Université de Nancy - France

AUTOEVALUATION DE GSM

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Strengths (Forces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipe pluridisciplinaire, compétente en traitement du signal et des images, en télécommunications ▪ Thèmes de recherche de l'équipe en plein essor ▪ Equipe a forte attractivité des doctorants (10 doctorants en moyenne au sein de l'équipe) ▪ Cinq membres de l'équipe sont titulaires d'une HDR (forte capacité d'encadrement doctoral) ▪ Moyenne d'âge de l'équipe correspondant à une bonne expérience en recherche ▪ Production scientifique (publications et brevets) qualitativement et quantitativement significative ▪ Très bonne visibilité des membres de l'équipe (séminaires, conférences, jurys...) ▪ Site (les activités de recherche de l'équipe se réalisent toutes au sein d'un même site) 		<p style="text-align: center;"><i>Weaknesses (Faiblesses)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de soutien technique attiré (nécessité de lourds moyens informatiques liés aux thématiques de l'équipe et pas de technicien informatique) ▪ Infrastructure (Surface de bureaux qui n'est pas en accord avec la croissance de l'équipe)
Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Opportunities (Opportunités)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellentes collaborations avec le monde académique ▪ Excellentes collaborations avec le monde industriel. ▪ Moyens financiers contractuels ▪ Proximité des Pôles de compétitivité (Optitec et SCS) ▪ Environnement de recherche riche (équipes de Fresnel, LAM, LMA...) ▪ Lien avec l'Ecole Centrale de Marseille (recrutement en thèse d'élèves de haut niveau y compris étrangers). 		<p style="text-align: center;"><i>Threats (Menaces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mode d'attribution des bourses étatiques (inversement proportionnel au nombre de doctorants de l'équipe : désavantage les équipes ayant obtenu des financements industriels et risque de les enfermer dans des sujets applicatifs). ▪ Quatre Maîtres conférences de l'équipe sont titulaires d'une HDR (risque de perte de l'expertise si la politique de carrière de l'établissement ne permet pas d'en stabiliser une partie).

PROJET GSM

Comme cela a été le cas pendant ces quatre dernières années, nos recherches proposeront des innovations **théoriques** et s'appuieront sur des **applications** industrielles, médicales et multimédia. Elles seront l'occasion de développer nos collaborations aussi bien académiques qu'industrielles, au sein même de l'Institut Fresnel comme sur les scènes nationales et internationales.

Nous comptons nous appuyer sur les larges compétences de l'équipe pour mener à bien des projets ambitieux élargissant le panel de nos compétences. Notre projet vise ainsi à renforcer et intensifier les thématiques phares de l'équipe GSM en mettant désormais aussi l'accent sur l'aspect expérimental dans le but de maîtriser la chaîne allant de l'acquisition au traitement, et de pouvoir ainsi valider et améliorer nos résultats. A ce titre, le développement d'un banc d'acquisition d'images hyper spectrales est déjà programmé.

Nous avons pour ambition d'**asseoir notre notoriété dans le domaine du traitement du signal tensoriel, et d'aller au-delà** avec des méthodes tensorielles élargies, en développant d'autres extensions des techniques d'estimation et de filtrage utilisées en traitement du signal, ce qui reste encore un thème très ouvert. Nous prévoyons de nous investir dans la recherche de nouvelles méthodes de décomposition tensorielles : nouvelles variantes adaptées au mieux à chacune des applications que nous aborderons en particulier en terme de temps de calcul et de place mémoire.

* Les techniques que nous avons développées et expérimentées en terme de **débruitage** et de **démixage** par factorisation en tenseurs positifs pour l'imagerie aérienne méritent d'être améliorées en vue de leur extension à de l'imagerie en milieux complexes (marin, biologique, industriel...). Nous pensons nous baser sur une modélisation plus précise des phénomènes physiques imagés pour proposer de nouvelles méthodes de traitement. L'estimation des paramètres de ces modèles devient alors une nécessité, et nous développerons également des méthodes globales à cet effet. *Ces objectifs sont fortement soutenus par la DGA (financement de thèses et projet REI "HypLitt" (2010-13), en collaboration avec l'entreprise ACTIMAR).*

Nous proposons aussi une application de ces méthodes aux images en fluorescence multi-spectrales ou multi-vues, par exemple par une *collaboration avec l'équipe SEMO de l'institut Fresnel.*

** Nous comptons aussi généraliser les **concepts tensoriels à l'imagerie médicale**. En effet, l'imagerie hyperspectrale pour les applications médicales en est à ses balbutiements. La plate forme d'acquisition et de traitement que nous mettons en place permettra de confirmer les apports "attendus" de cette technologie dans l'aide au diagnostic assistée par ordinateur. Dans cette quête d'analyse des images multidimensionnelles, nous nous proposons de développer des techniques utilisant l'association conjointe de l'information spatiale et spectrale dans un but de segmentation des régions d'intérêt médical en utilisant la notion de texture hyperspectrale. *Ces derniers travaux se feront en collaboration avec l'institut Fraunhofer*

(Fraunhofer IIS Erlangen), l'hôpital de la Timone (Marseille) et des partenaires industriels de la région PACA.

*** La modélisation tensorielle sera aussi étendue au **domaine des communications** numériques. Dans le cadre des recherches sur la future génération des réseaux de capteurs pour les communications, nous nous intéresserons aux réseaux de capteurs sans connexion dont les applications sont multiples. Nous optimiserons les réseaux coopératifs et réseaux de relais en termes de choix de codage espace-temps, d'estimation de canal et de recherche de solutions pratiques pour préserver les ressources spectrales et optimiser la consommation d'énergie au niveau des nœuds du réseau. Les techniques tensorielles utilisant le modèle PARAFAC et la séparation de sources seront adaptées à l'analyse des données fournies par ce système type MIMO.

Nous considérerons aussi l'utilisation de la technologie MIMO de façon virtuelle pour développer des réseaux intelligents où les nœuds essaient de coopérer entre eux en profitant de la diversité spatiale augmentant ainsi le débit de transmission mais surtout en améliorant la fiabilité du lien de communication vers la destination. L'accent sera mis sur l'optimisation des paramètres de transmission et la robustesse vis-à-vis du bruit et/ou des interférences. *Nous appliquerons nos résultats à un réseau de capteurs intelligents déployé en eaux profondes dans le cadre d'un projet avec l'IFREMER (site Toulon) avec le financement d'une thèse qui s'inscrit dans le projet européen J2RA EUROFLEET FP7. Nous collaborons aussi sur ces thèmes avec l'entreprise ERCOM.*

Parallèlement, des développements seront apportés dans la **continuité des axes que nous avons développés jusqu'ici en traitement du signal multidimensionnel** tout en y ouvrant de nouvelles perspectives.

* L'utilisation d'une seule modalité d'imagerie montre très vite ses limites en particulier pour les *images médicales* où un diagnostic précis repose généralement sur la confrontation des informations issues de plusieurs approches. Dans ce cadre et compte tenu de nouveaux modes exploratoires, il apparaît important de développer des techniques de mise en correspondance et de segmentation adaptées en utilisant des concepts multidimensionnels, ainsi que des recherches sur les problèmes de reconstruction tomographique de recalage et de positionnement.

** La biométrie est une thématique importante dans l'équipe GSM, qui a donné lieu à des collaborations avec l'entreprise ST-Microelectronics. L'une des perspectives attrayantes que nous comptons étudier les prochaines années concerne le développement de nouvelles extensions du modèle de chaîne de Markov. En particulier, nous comptons porter notre attention sur les modèles de filtre de Kalman à sauts markoviens, dans lesquels un troisième processus pilote le comportement (i.e. fait varier les paramètres) du filtre de Kalman. Ce modèle sera développé et évalué dans le cadre d'une amélioration de la poursuite d'un iris dans une séquence vidéo basse résolution spatiale et temporelle. *Cette étude est soutenue par un projet franco-tunisien entre le CNRS et la DGRS tunisienne et en partie par le projet ARCUS-CERES financé par la région PACA et le ministère des affaires étrangères*

*** L'expérience de l'équipe concernant les descripteurs de Fourier et les méthodes de traitement d'antenne adaptées au traitement d'images, sera aussi mise à profit pour contribuer à la résolution de problèmes ouverts tels que : la sensibilité à l'initialisation, les contours qui se croisent, les contours non-étoilés à forte concavité et

la segmentation d'images à fonds texturés. En particulier dans les deux derniers cas nous souhaitons créer une antenne circulaire évolutive dont la trajectoire du centre sera déterminée par l'algorithme de Kalman et d'autre part nous proposons de modéliser des fonds ou contours texturés comme des contours flous, et d'adapter des techniques dédiées aux sources diffuses en analyse spatiale pour les caractériser. *Ces travaux se feront en collaboration avec l'institut Fraunhofer (Fraunhofer IIS Erlangen) notamment pour les applications à des images issues d'un contexte industriel et seront utilisés dans le projet "Skipacage-Isola2000" avec l'entreprise Shaktiware.*

**** Dans le cadre des systèmes de communication FSO, nous étendrons nos études au cas de systèmes utilisant des faisceaux multiples puis à la fois des faisceaux et des lentilles multiples. Pour cela, nous élaborerons un modèle de propagation approprié et suffisamment précis, et procéderons à une optimisation inter couches (entre les couches physique et MAC). *Les résultats de ces travaux seront utilisés dans le cadre du projet LHOM avec l'ONERA, les entreprises Shaktiware et One RF.*

BILAN SCIENTIFIQUE MAP2

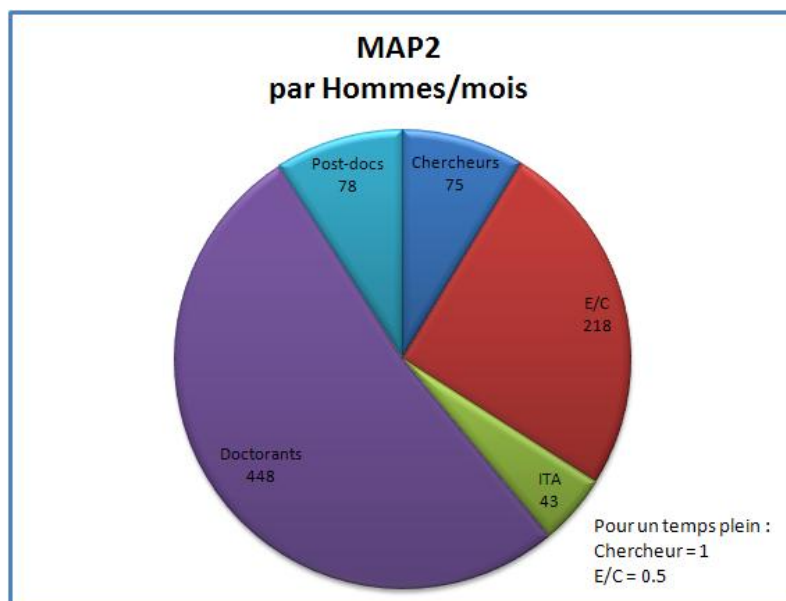
Responsable d'équipe : Mireille COMMANDRE

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
AKHOUAYRI Hassan	PR2	ECM
AMRA Claude	DR1	CNRS
COMMANDRE Mireille	PR1	ECM
DA SILVA Anabela	CR1	CNRS (arrivée : 01.10.08)
DEUMIE-RAVIOL Carole	PR2	ECM
FOSSATI Caroline	MCF	ECM (départ équipe GSM : 01.01.09)
GALLAIS Laurent	MCF	ECM
GEORGES Gaëlle	MCF	ECM (arrivée : 01.09.08)
NATOLI Jean Yves	PR2	UPCAM
SIOZADE Laure	MCF	UP (arrivée : 01.01.07)
WAGNER Frank	MCF	UPCAM
ZERRAD Myriam	IR2	UPCAM (arrivée : 01.12.06)

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
BUSSIERE Benoît	Doctorant	22.09.2010
CASADESSUS Olivier	Doctorant	2012
FU Xinghai	Doctorant	2012
MANGOTE Benoît	Doctorant	2011
MICHEL Thomas	Doctorant	2012
NDIAYE Césaire	Doctorant	2012
REHN Simon	Doctorant	2012
REYNE Stéphane	Doctorant	2010
SORRENTINI Jacques	Doctorant	2010
TAMIME Rahma	Doctorante	2011
VAUSELLE Alexandre	Doctorant	2013
VIAL Benjamin	Doctorant	2012



75 Homme/mois ETP de chercheurs + 238 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 26 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 5,8 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

Les activités de l'équipe sont basées sur trois domaines d'expertise, la diffusion lumineuse, l'absorption optique et l'interaction photon matière aux forts flux. Elles concernent aussi bien les aspects théoriques qu'expérimentaux. C'est une caractéristique majeure de l'équipe que de développer des approches théoriques étroitement associées à de nouvelles techniques expérimentales, de l'instrumentation et de la métrologie. Les thèmes de recherche étudiés durant la période seront ici classés en trois groupes intitulés Diffusion lumineuse, Capteurs d'image CMOS et Interaction photon matière aux forts flux.

Du fait de ses activités expérimentales "lourdes" (salles blanches, lasers de puissance, instruments originaux...), l'équipe gère un budget conséquent (4,5M€ sur 4,5 ans) et a poursuivi durant ce quadriennal un important effort d'investissement (ferme de calcul, unité de stockage de données, salles blanches ou grises, microscope confocal avec imagerie et spectroscopie de luminescence, microscope électronique à balayage adapté à l'imagerie sur substrat isolant et analyse EDX, mesureur de pertes optiques de type cavité, différents bancs de lasers de puissance : continu, nanoseconde, picoseconde et femtoseconde...). Nous sommes impliqués dans de nombreuses **collaborations académiques** : CEA (CESTA, Le Ripault, LETI, Cadarache), CNES, IFREMER, CERIMED, Institut des Neurosciences Cognitives de Méditerranée, LMA, LP3, LOA, équipes RCMO, CLARTE, PHYTI, SEMO, HIPE, GSM de l'Institut Fresnel..., **industrielles** : SUEZ, Cristal Laser, Thales, ST Microelectronics, Silios Technologies, Amplitude Technologies, IBS, CILAS Marseille, Shaktiware..., et

internationales : ESA, DLR (Allemagne), Livermore LNL, Universités de Vilnius (Lituanie), de Porto Alegre (Brésil), de Sherbrooke, Québec (Canada), de Zhejiang (Pr Liu Xu), ICFO Barcelone Le bilan de la **production scientifique** entre janvier 2006 et février 2010 est de 47 ACL, 12 conférences invitées, 37 conférences avec actes, 1 brevet et 5 chapitres de livre. 9 thèses et une habilitation à diriger les recherches ont été soutenues, deux habilitations à diriger les recherches sont prévues en 2010. On notera que quatre des membres de l'équipe sont très fortement impliqués dans des responsabilités ou des tâches d'intérêt collectif aux niveaux local ou national.

L'activité **Diffusion Lumineuse** a été à l'origine orientée vers la conception et la caractérisation de composants à pertes minimales et liée à l'expertise en couches minces optiques. Ces succès ont porté un certain nombre d'activités (champ proche, microcavités, phase et speckle, filtrage par réseaux, ellipsométrie).

Du fait de développements fondamentaux nouveaux (modélisation électromagnétique, polarisation, problème inverse, reconstruction, séparation effets surface/volume ...) les champs d'application ont été élargis: métrologie en particulier pour la microélectronique, milieux inhomogènes (pour le photovoltaïque ou le spatial par exemple), étude et synthèse de poudres (cosmétiques...), couleur, imagerie en milieu diffusant, optique pour le biomédical, polarisation multiéchelle... L'activité a ainsi établi des collaborations avec les équipes RCMO (instrumentation), PHYTI (optique statistique), SEMO (méthode intégrale) et HIPE (éléments finis). L'ANR NANOREF a permis de finaliser dans ce quadriennal le problème de la normalisation de la rugosité multi-échelle. Initialement animée par 2 permanents, l'activité a bénéficié au cours de la période d'un fort développement et compte début 2010, 5,7 permanents (2 MCF recrutés en 2007 et 2008, 1CR1 recruté en 2008, 0,7 IR recruté en 2006, soit au final 2 équivalents temps plein) et 5 doctorants. Cette montée en puissance commence à porter ses fruits : 48 communications dont 20 RICL, 5 conférences invitées, participation à 2 ANR et à divers programmes nationaux/régionaux, 3 thèses soutenues et 5 thèses en cours.

L'activité **Capteurs d'image CMOS** a bénéficié depuis 2003 du cadre d'une collaboration plus large entre ST Microelectronics Rousset et l'Institut Fresnel (équipes MAP2, GSM puis MOSAIC) (Convention ST Rousset 2003-2009 financée par le CG13). L'activité Optique pour la microélectronique (capteurs d'image CMOS et masques avancés) a impliqué deux enseignants chercheurs de MAP2 (1PR, 1MCF) et a notamment donné lieu à la soutenance d'une habilitation à diriger les recherches en 2008 (C. Fossati affectée ensuite à GSM à partir de janvier 2009). A partir de 2006, MAP2 s'est particulièrement intéressée en collaboration avec CLARTE à la plasmonique pour le filtrage colorimétrique intégré sur silicium, ce qui a conduit à 4 RICL, 2 actes de conférences internationales et une thèse soutenue.

Démarrée en 1998 sur la base des expertises couches minces et absorption optiques du laboratoire, l'activité **Interaction photon matière aux forts flux** a compté sur la période 5,3 permanents (3 PR, 2 MCF, 0,3 IR soit un équivalent temps plein de 2,5) avec 3 thèses en cours, 4 thèses ayant été soutenues. La compréhension des

phénomènes physiques responsables de l'endommagement des composants optiques sous irradiation intense, la mesure et l'amélioration des seuils de tenue au flux sont d'une importance majeure pour la conception des systèmes laser. Différents grands volets nouveaux ont été introduits (cristaux non linéaires, endommagement lasers femto et picoseconde, stabilisation des dommages, composants microstructurés...) s'appuyant sur les équipements Fresnel de la plateforme mutualisée "Photonique de puissance" labellisée POP SUD (collaboration CILAS, SESO, LP3) et grâce au développement de nouveaux bancs de mesure et diagnostic: banc pour les durées d'impulsion subpicoseconde (collaboration RCMO), stabilisation des dommages par laser CO₂ (collaboration CEA), luminescence spectrale résolue en temps à l'échelle nanoseconde... Cette activité instrumentale et de métrologie a été associée au développement de modèles électromagnétiques, thermiques et statistiques afin d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques mis en jeu. L'activité a donné lieu à 22 ACL, 7 conférences invitées internationales et 1 brevet et bénéficie d'une forte reconnaissance nationale et internationale (contrats industriels et de recherche, collaborations, comités scientifiques internationaux).

RESULTATS MARQUANTS

■ THEME 1 : DIFFUSION LUMINEUSE

De nouveaux concepts d'analyse quantitative et d'imagerie ont été développés. Ils sont axés sur l'analyse sélective des effets diffusants, grâce à des avancées significatives dans le domaine de la modélisation électromagnétique, ainsi qu'au développement de nouveaux montages expérimentaux.

- *Th1-1 : Modélisation électromagnétique 3D de la diffusion*

Un développement majeur a été mené à travers la mise en œuvre d'un code 3D de simulation de la diffusion lumineuse par des surfaces et volumes périodiques ou aléatoires. Basé sur la méthode différentielle (thèse L. Arnaud) [251, 260], il a permis d'adresser la problématique de la reconstruction pour la microélectronique, qui se poursuit actuellement (CIFRE en cours avec ST Microelectronics A. Vauselle). Cet outil numérique nous a également amenés à analyser les termes de phase dans le speckle de la lumière diffusée, ce qui permet aujourd'hui de fortes ouvertures.

- *Th1-2 : Imagerie ellipsométrique et analyse sélective*

Dans l'analyse des divers effets responsables des comportements diffusants (surfaces, volumes, défauts, comportements multiéchelle), nous avons franchi une étape nouvelle, qui nous amène à l'analyse quantitative sélective des effets par des techniques non destructives.

- a) **Une technique basée sur l'analyse et l'extinction des ondes polarisées** (brevet 2005 extension en cours) a permis d'annuler avec succès une diffusion de surface au profit d'une diffusion de volume (ou inversement), et des variantes ont été explorées: interfaces enterrées, effacement de fond de scène au profit d'un objet unique... [260]. Ces techniques ont été quantifiées (thèse G. Georges) puis

validées en optique sous-marine (collab. Ifremer), et sont en cours d'implémentation pour une aide au diagnostic ophtalmologique dans le cas de l'analyse de cornées pathologiques (thèse O. Casadessus). Des travaux en régime de forte diffusion sont menés (thèse J. Sorrentini) pour contrôler pixel à pixel l'effacement de grains de speckle, ce qui peut amener à des encodages spécifiques d'images imbriquées. Dans ce contexte, une **analyse multi-échelle de la dépolarisation** a permis de décrire et prévoir le passage progressif entre deux états extrêmes de polarisation, notamment la dépolarisation extrinsèque induite par la microstructure du milieu diffusant. Ces travaux, couplant expérimentation, optique électromagnétique et optique statistique, ont révélé des signatures de speckle permettant l'identification des surfaces et volumes [249]. Ils relancent l'intérêt de l'interférométrie de polarisation à une échelle ajustable en fonction de la structure des centres diffusants.

- b) Analyseur Optique de Surfaces, AOS :** Dans l'analyse d'états de surface, nos études ont montré l'influence notable de la présence de défauts localisés sur les mesures de rugosité par diffusion lumineuse. Un analyseur de surface spécifique a été mis en œuvre (thèse M. Zerrad, en collaboration avec équipe RCMO). Il permet en une acquisition unique (20 min) l'enregistrement de plus de 400 000 indicatrices de diffusion correspondant chacune à la mesure du flux diffusé par une surface élémentaire de $26\mu\text{m}$ de côté sur l'échantillon [39]. Une étude numérique approfondie permet ensuite l'identification des effets liés à la présence de défauts localisés et leur extraction dans le but d'une quantification précise de la rugosité intrinsèque de la surface.
- c) Signatures de speckle et introduction à l'optique statistique:** L'interaction d'une source lumineuse cohérente avec un milieu complexe produit une figure de "speckle". L'utilisation du speckle n'est pas neuve et trouve un large champ d'applications en raison de sa grande sensibilité aux paramètres extérieurs. L'application nouvelle concerne ici l'identification de l'origine de la diffusion (thèse J. Sorrentini). Chaque grain de speckle possède une polarisation propre. Ces grains recouvrent partiellement ou totalement la sphère de Poincaré selon l'origine de la diffusion (surface ou volume). Les histogrammes d'intensité (1 million de points mesurés avec une matrice CCD) sont distribués selon une loi Gamma d'ordre 1 pour la surface, et d'ordre 4 pour le volume. Ces données étant obtenues avec un éclairage laser en lumière naturelle, la discrimination surface/volume apparaît ainsi immédiate, robuste et de bas coût [273].

- Th1-3 : Ouvertures vers d'autres communautés

Tous ces développements nous ont permis d'adresser d'autres champs disciplinaires. L'analyse des états de volume est utilisée dans le domaine du génie des procédés pour l'analyse du colmatage de membranes poreuses pour la dépollution de l'eau (thèse CIFRE SUEZ en cours R. Tamine, en partenariat avec le laboratoire M2P2) [258, 259].

Le projet POCASI (POLarimetric Controlled Annulation for Selective Imaging) nous a permis d'adresser aujourd'hui le monde du biomédical. Plusieurs programmes sont

ainsi en cours avec des thèses commencées : analyse des propriétés de la cornée pour l'aide à la chirurgie (thèse O. Casadessus avec APHM/EFS, et projet DCOUP avec LP3), imagerie non invasive du cerveau en partenariat avec INCM (Institut des Neurosciences Cognitives de la Méditerranée), analyse du flux sanguin par imagerie de polarisation (collab. CEA LETI, thèse S. Rehne). Un **nouvel instrument (OCT)** a été développé spécifiquement pour les applications dédiées au biomédical [277]. Cette technique est en cours de couplage avec les techniques d'imagerie de polarisation sélective, qui devrait lui conférer une forte originalité. L'ANR SEEC : plasmonique et microscopie ellipsométrique permet d'adresser un nouveau thème de microscopie exaltée pour la bio-photonique (thèse C. Ndiaye).

■ THEME 2 : IMAGEURS CMOS

Les pixels des capteurs d'image CMOS ont aujourd'hui des dimensions de l'ordre de grandeur des longueurs d'onde du visible, le micromètre. Leur conception nécessite de résoudre les équations de Maxwell dans ces structures multicouches à géométries complexes [Demésy et al., *Optical Engineering*, 48 (2009)]. Le filtrage colorimétrique est assuré classiquement par des résines colorées fonctionnant par absorption et d'épaisseur aujourd'hui trop importante. Les procédés technologiques utilisés pour la fabrication des imageurs CMOS autorisent la fabrication de motifs nanométriques. Il est donc possible de concevoir des composants photoniques intégrés basés sur la diffraction et réalisant différentes fonctions optiques dont le filtrage colorimétrique. A ces fins nous avons développé une méthode très générale de modélisation 3D reposant sur une nouvelle formulation de la Méthode des Éléments Finis [3]. Elle permet le calcul du champ électromagnétique diffracté ou diffusé, par des structures de *géométries arbitraires* éclairées par une onde plane d'incidence et de polarisation quelconques. Cette méthode a été appliquée à la conception de réseaux d'ouvertures annulaires dans une fine couche métallique permettant de *filtrer en transmission* la lumière dans ses composantes Rouge, Verte et Bleue et pouvant être intégrés sur une matrice de pixels CMOS. Le rendu colorimétrique de ces filtres est satisfaisant (Thèse CIFRE G. Demésy, STMicroelectronics, en collaboration avec l'équipe CLARTE, A. Nicolet et F. Zolla).

■ THEME 3 : INTERACTION PHOTON MATIERE AUX FORTS FLUX

Différents grands volets pour la plupart nouveaux ont été traités dans ce quadriennal :

- Th3-1 : Modélisation

Dans le cadre de l'étude des mécanismes d'initiation de l'endommagement pour les durées d'impulsion nanoseconde, du rôle et de la nature des nano précurseurs de l'endommagement laser et de leur détection non destructive (thèses H. Krol, J. Capoulade, H. Hildenbrand) nous avons développé des **modèles électromagnétiques, thermiques et statistiques** permettant d'interpréter les résultats expérimentaux [36, 38, 253, 254, 256]. Nous pouvons ainsi calculer les courbes de probabilités d'endommagement en fonction de la fluence et des conditions

d'irradiation dans le cas d'une initiation de l'endommagement par des précurseurs absorbants de taille nanométrique quelconque avec différentes distributions spatiales.

- Th3-2 : Nouveaux instruments pour la caractérisation non destructive

Nous avons développé de nouveaux instruments de caractérisation non destructive couplés aux bancs d'endommagement et appliqués à la compréhension des mécanismes de l'endommagement : microscope photothermique haute résolution pour cartographies d'absorption multi longueurs d'onde et détection des nanoprécurseurs (collab. CEA) [240, 253], **spectroscopie de luminescence résolue en temps à l'échelle nanoseconde** (collab. CEA, thèse A. Ciapponi) (ref 25 MAP2). Notre expertise en ce domaine a été reconnue par plusieurs conférences invitées et un prix de la meilleure conférence au Laser Induced Damage Symposium à Boulder (USA).

- Th3-3 : Etude multi-échelle de l'endommagement laser

L'influence de la taille du faisceau, particulièrement importante aux durées d'impulsion nanoseconde a pu être étudiée extensivement grâce au banc adapté de la plateforme Photonique de puissance (collab. CEA, thèse J. Capoulade) (ref 14 MAP2). Ces résultats feront l'objet d'une conférence invitée au Laser Damage Symposium à Boulder en septembre 2010.

- Th3-4 : Métrologie de l'endommagement laser dans les cristaux non linéaires (collaborations CNES, Thales, Cristal Laser, thèse A. Hildenbrand, Amplitude Technologies, LP3, Thèse B. Bussière) [247, 256, 268, 269].

Une étude exhaustive des phénomènes d'endommagement laser dans les cristaux optiques non linéaires utilisés pour la conversion de fréquence, l'amplification, les applications électro-optiques ((KTP, KDP, LBO RTP, KDP, Ti : Sa) a été menée dans les différentes conditions d'utilisation. Une **métrologie spécifique** a du être développée, prenant en compte les effets dans les cristaux liés à l'anisotropie et aux non linéarités. L'influence sur leur tenue au flux laser de la longueur d'onde d'irradiation, la polarisation, la direction de coupe du cristal, a pu être étudiée ce qui a permis de mieux comprendre les mécanismes de l'endommagement laser. Un résultat important est que la **coexistence de plusieurs longueurs d'onde** au sein du matériau modifie de façon importante la tenue au flux laser du composant. Pour les cristaux non linéaires de qualité, en particulier les cristaux de conversion de fréquence comme RbTiOPO_4 , notre étude a montré que les contaminants ou lacunes ne déterminent pas le seuil d'endommagement. Ce résultat en finit avec l'idée reçue que le seuil des cristaux pourrait être amélioré en s'approchant du cristal idéal.

- Th3-5 : Effets cumulatifs

Les irradiations laser répétitives peuvent détériorer les composants à des niveaux d'irradiation inférieurs à ceux mesurés pour des tirs uniques. On parle alors d'effet de fatigue. De plus, si un endommagement survient sur une optique, il arrive que les tirs ultérieurs conduisent à la croissance catastrophique du dommage. Ces effets cumulatifs réduisent la durée de vie des optiques et jouent un rôle important

notamment pour les applications spatiales (collaboration CNES, ESA, thèse A. Hildenbrand) [268].

- **Th3-6 : Procédé laser infrarouge pour amélioration de la tenue au flux**

En collaboration avec des équipes du CEA, nous avons mis au point un procédé permettant de stabiliser les dommages c'est-à-dire d'arrêter leur croissance pour rendre les optiques plus résistantes au flux laser et augmenter leur durée de vie (collaboration CEA CESTA, Livermore Nat. Lab.) Il s'agit plus précisément de retoucher sur quelques mm² l'optique endommagée grâce à un traitement thermique par laser CO₂. [267 et Brevet 2009].

- **Th3-7 : Durées d'impulsion subpicoseconde : photoinscription et usinage**

Un banc dédié à l'interaction laser matière pour les **très courtes durées d'impulsion** (pico à femtoseconde) a été développé pour l'étude de la photoinscription et de l'usinage laser femtoseconde (ANR FESTIC, collaboration RCMO, LP3, LOA, Amplitude technologies, CILAS, thèse B. Mangote) et est opérationnel.

- **Th3-8 : Endommagement des composants optiques multicouches**

L'endommagement laser dans les **couches minces optiques** et composants multicouches est une de nos priorités depuis le début (thèses H. Krol dans l'infrarouge nanoseconde, J. Capoulade puis Xinghai Fu en régime nanoseconde, B. Mangote en régime subpicoseconde). Nous avons réalisé en collaboration avec RCMO des études comparatives de la tenue au flux de différents matériaux préparés par différentes techniques de dépôt (ref 6, 8, 14, 16 MAP2, 38, 40 MAP2 RCMO). Ces études couvrent maintenant les durées d'impulsion **du régime nanoseconde au femtoseconde afin de déterminer les lois d'échelle temporelles** (collaborations Univ de Vilnius, Lituanie, Zhejiang Chine, RCMO, CILAS).

CONCLUSION

L'équipe est impliquée dans de nombreuses collaborations académiques, industrielles et internationales et travaille notamment avec toutes les équipes de l'Institut. L'unité de l'équipe est basée sur une culture à la croisée de l'expérimentation et de la modélisation avec de fortes compétences en instrumentation et en problèmes inverses. L'activité Diffusion lumineuse a bénéficié de la croissance de l'équipe en effectifs durant ce quadriennal et cela a permis l'ouverture d'un nouveau champ disciplinaire, l'optique pour le biomédical. Les effectifs sur les autres thèmes sont restés stables dans la période. Deux recrutements de MCF ayant été faits dans le quadriennal précédent pour le thème Interaction laser matière aux forts flux, un effort important a été consacré au développement de nouvelles activités et la soutenance de deux habilitations à diriger les recherches (F. Wagner et L. Gallais) est prévue en 2010. L'équipe bénéficie d'une forte reconnaissance nationale et internationale (contrats industriels et de recherche, collaborations, comités scientifiques internationaux, prix et conférences invitées internationales).

Les développements théoriques et expérimentaux faits pour les imageurs CMOS trouvent naturellement une continuité avec une activité plasmonique pour le filtrage spectral dans les détecteurs qui démarre à partir de 2009 en collaboration avec CLARTE (thèse CIFRE Silios Technologies de B. Vial notamment).

L'équipe affiche un besoin fort d'un recrutement de chercheur ou enseignant chercheur dans le domaine de la modélisation multiphysique particulièrement pour les applications interaction laser matière aux forts flux et pour la compréhension des mécanismes de l'endommagement laser mis en jeu lors de l'initiation, ou responsables de la croissance des dommages et des effets de fatigue.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

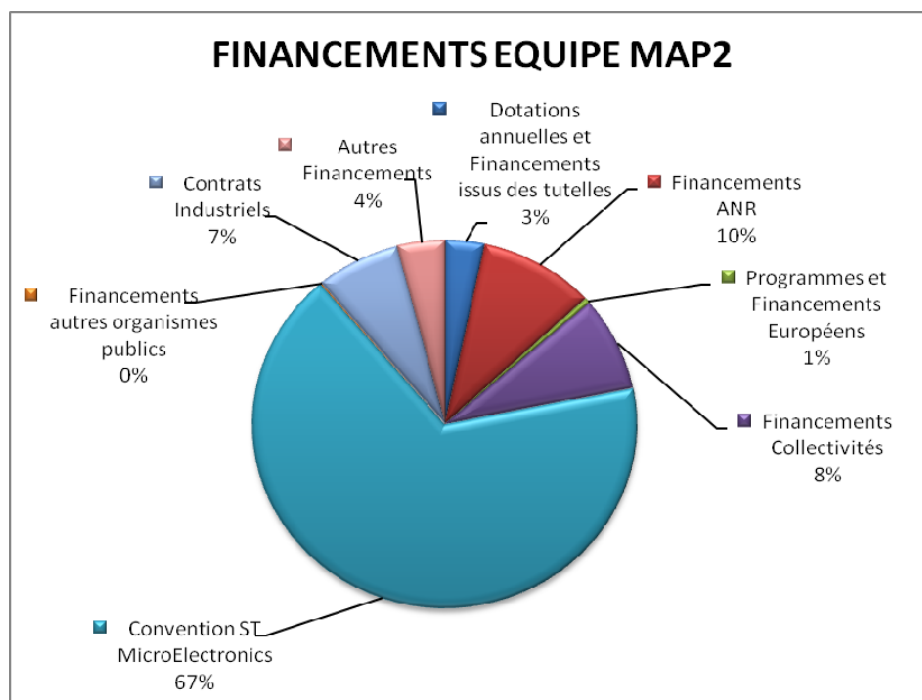
■ PUBLICATIONS

En bref :

ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	51
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>).....	13
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	43
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	45
AFF (<i>Communications par affiche dans un congrès international ou national</i>).....	10
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>).....	4
AP (<i>Autres productions</i>)	6

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE MAP2	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	150 756.07 €
Financements ANR	437 767.42 €
Programmes et Financements Européens	23 979.80 €
Financements Collectivités	373 212.00 €
Convention ST MicroElectronics	3 021 933.20 €
Financements Autres Organismes Publics	6 000.00 €
Contrats Industriels	318 436.20 €
Autres Financements	180 159.16 €
TOTAL	4 512 243.85 €



Bilan financier détaillé de l'équipe MAP2

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financeur	Date de début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Organisme gestionnaire
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		10 014.13 €	UPCAM
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	14 399.11 €	17 221.34 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		3 096.77 €	UP
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		12 978.00 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	12 978.00 €	15 521.69 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	13 530.16 €	16 182.07 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		1 682.48 €	UP
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	13 530.16 €	16 182.07 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		9 732.36 €	ECM
	2009	NATOLI Jean-Yves	Comportement sous flux lumineux intenses de composants optiques microstructurés	BQR UPCAM	01/06/2009	31/12/2009	16 725.00 €	20 003.10 €	UPCAM
	2009	DA SILVA Anabela	PEPS	CNRS	11/03/2009	31/12/2009	10 000.00 €	11 960.00 €	CNRS
	2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	13 530.16 €	16 182.07 €	CNRS
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES								150 756.07 €	
Financements ANR	2006	COMMANDRE Mireille	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photoinscription laser femtoseconde	ANR	28/12/2006	28/12/2010	95 500.00 €	114 218.00 €	CNRS
	2007	DEUMIE Carole	Nanoref : Phénomènes de surfaces à l'échelle nanométrique et moyens de caractérisation : vers des surfaces de référence et étalons de rugosités	ANR	01/01/2007	31/07/2007	71 344.00 €	85 327.42 €	UPCAM
	2008	DEUMIE Carole	SEEC	ANR	01/01/2008	31/12/2011	199 182.27 €	238 222.00 €	ECM
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR								437 767.42 €	
Programmes et financements européens	2009	NATOLI Jean-Yves	Comportement sous flux lumineux intenses de composants optiques microstructurés	FEDER PACA	10/11/2009	09/11/2011	20 050.00 €	23 979.80 €	UPCAM
TOTAL TTC PROGRAMMES ET FINANCEMENTS EUROPEENS								23 979.80 €	
Financements Collectivités	2003	DEUMIE Carole	Reconstruction en ligne de micro-objets de la microélectronique par les technologies d'ellipsométrie sur flux diffus ou diffracté : extension de la scatérométrie	CONSEIL REGIONAL PACA	24/10/2003	30/09/2006	14 632.11 €	17 500.00 €	UPCAM
	2003	DEUMIE Carole	Reconstruction en ligne de micro-objets de la microélectronique par les technologies d'ellipsométrie sur flux diffus ou diffracté : extension de la scatérométrie	CONSEIL GENERAL BDR	24/10/2003	30/09/2006	16 722.41 €	20 000.00 €	UPCAM
	2004	COMMANDRE Mireille	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	22/07/2004	21/07/2006	363 000.00 €	434 148.00 €	UPCAM
	2005	COMMANDRE Mireille	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	22/07/2005	21/07/2007	35 900.00 €	42 458.00 €	UPCAM
	2006	DEUMIE Carole	Nouvelles techniques d'imagerie optique en milieu diffusant	CONSEIL REGIONAL PACA	10/11/2006	09/11/2011	32 000.00 €	38 272.00 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	01/01/2006	31/03/2007	1 181 000.00 €	1 412 476.00 €	UPCAM
	2007	COMMANDRE Mireille	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	30/03/2007	31/03/2008	894 800.00 €	1 070 180.80 €	UPCAM
	2007	COMMANDRE Mireille	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photoinscription laser femtoseconde	CONSEIL GENERAL BDR	17/04/2007	16/04/2012	40 000.00 €	47 840.00 €	CNRS
	2007	COMMANDRE Mireille	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photoinscription laser femtoseconde	CONSEIL REGIONAL PACA	09/03/2007	08/03/2011	85 000.00 €	101 660.00 €	CNRS
	2007	DEUMIE Carole	Equipement projet POCASI	CONSEIL REGIONAL PACA	29/11/2007	28/11/2011	58 528.43 €	70 000.00 €	UPCAM
	2008	COMMANDRE Mireille	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics"	CONSEIL GENERAL BDR	01/04/2008	30/03/2009	52 400.00 €	62 670.40 €	UPCAM
	2009	DEUMIE Carole	Canceropole 2008 participation à l'acquisition d'équipements	CONSEIL REGIONAL PACA	30/07/2009	29/07/2014	50 167.22 €	60 000.00 €	ECM
	2009	DEUMIE Carole	APO 2009 Participation à l'acquisition d'équipements pour le projet DCOUP	CONSEIL REGIONAL PACA	27/08/2009	26/08/2014	15 000.00 €	17 940.00 €	ECM
TOTAL TTC FINANCEMENTS COLLECTIVITES								3 395 145.20 €	

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date de début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Organisme gestionnaire
Financements Autres Organismes Publics	2006	AMRA Claude	Etat de l'art sur la tenue au flux des matériaux et des couches minces optiques dans le proche infrarouge dans le cas d'un éclairage continu	DGA	22/09/2006	31/12/2006	5 016.72 €	6 000.00 €	CNRS
	TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								6 000.00 €
Contrats Industriels	2005	DEUMIE Carole	Caractérisation de rugosité par AFM	DASSAULT AVIATION	04/03/2005	31/12/2006	20 950.00 €	25 056.20 €	UPCAM
	2005	COMMANDRE Mireille	contrat de collaboration en application de la convention CIFRE n° 041/2004 concernant la validation du 1er rapport de thèse de Laurent Araud	CIFRE ST MICROELECTRONICS	07/10/2005	31/03/2007	21 000.00 €	25 116.00 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	Mesures de tenue au flux : Mesures de courbes de probabilités d'endommagement sur des substrats de silice pour étude de l'influence du polissage et du nettoyage sur la tenue au flux laser".	CILAS	06/12/005	05/12/2006	5 000.00 €	5 980.00 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	Etat de l'art sur la tenue au flux des matériaux et des couches minces optiques dans le proche infrarouge dans le cas d'un éclairage continu	CIFRE	01/04/2006	30/03/2009	21 000.00 €	25 116.00 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	Endommagement cristaux CHEMCAM	THALES LASER	17/01/2006	28/04/2006	61 200.00 €	73 195.20 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	Mesure TFL en cadence d'un polarisateur	CILAS	06/03/2006	31/12/2006	1 500.00 €	1 794.00 €	UPCAM
	2007	NATOLI Jean-Yves	Etude de la tenue au flux laser à 1064nm de polariseurs testés à 60°.	CILAS	20/07/2007	31/12/2008	7 000.00 €	8 732.00 €	UPCAM
	2007	WAGNER Frank	Qualification CHEMCAM et complément levée e risques	THALES LASER	01/01/2007	31/12/2007	18 100.00 €	21 647.60 €	CNRS
	2008	DEUMIE Carole	Mesures de BDRfet DTDf à 633 nm, 458nm et 1064 nm	EADS SODERN	27/05/2008	27/05/2009	46 500.00 €	55 614.00 €	ECM
	2008	DEUMIE Carole	Etude de la topographie de l'interface entre le silicium et un oxyde transparent conducteur, étude préliminaire à un bilan de lumière piégée	SAINT GOBAIN	28/05/2008	27/09/2008	20 000.00 €	23 920.00 €	ECM
	2008	ZERRAD Myriam	Lumière diffusée par des surfaces polies en céramiques	ASTRIUM	28/10/2008	31/12/2009	16 000.00 €	19 136.00 €	ECM
	2009	ZERRAD Myriam	Installation et calibrage de substrats	OERLIKON	24/09/2009	23/09/2010	10 300.00 €	12 318.80 €	CNRS
	2009	NATOLI Jean-Yves	Mesures de tenue au flux sur lame CHEMCAM	CILAS	31/12/2009	30/12/2010	900.00 €	1 076.40 €	UPCAM
	2010	WAGNER Frank	Formation et mise en place d'un confocale, et analyses d'aérogels	PRIME VERRE	10/05/2010	30/06/2010	16 500.00 €	19 734.00 €	CNRS
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								318 436.20 €	
Autres financements	2006	GALLAIS Laurent	Stabilisation laser CO2	CEA LE BARP	01/07/2006	01/01/2007	25 167.00 €	3 099.73 €	UPCAM
	2006	COMMANDRE Mireille	Tenue au flux et conditionnement KDP et DKDP	CEA LE RIPALUT	18/05/2006	31/12/2006	40 000.00 €	47 840.00 €	UPCAM
	2007	NATOLI Jean-Yves	Expertise "participation to the Aeolus laser risk reduction working group"	ESA/ESTEC	31/08/2007	31/12/2008	30 000.00 €	35 880.00 €	UPCAM
	2007	NATOLI Jean-Yves	Etude des processus d'endommagement laser des composants optiques soumis à des impulsions multi-longueur d'onde	CEA CESTA	18/12/2007	31/12/2008	10 043.00 €	12 011.43 €	UPCAM
	2007	GALLAIS Laurent	Etude paramétrique et validation d'un procédé de stabilisation laser	CEA LE BARP	15/12/2007	31/12/2008	18 000.00 €	21 528.00 €	UPCAM
	2009	NATOLI Jean-Yves	Encadrement de thèse	CEA CESTA	05/10/2009	04/10/2012	12 000.00 €	14 352.00 €	ECM
	2009	WAGNER Frank	Comptage de particules microniques dans des aérogels	CEA CESTA	18/05/2009	17/05/2010	18 000.00 €	21 528.00 €	ECM
	2009	NATOLI Jean-Yves	Endommagement maser des cristaux de KDP	CEA LE RIPALUT	01/01/2009	31/12/2009	20 000.00 €	23 920.00 €	ECM
TOTAL TTC AUTRES FINANCEMENTS								180 159.16 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE MAP2								4 512 243.85 €	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

Nous sommes impliqués dans de nombreuses **collaborations académiques** : CEA (CESTA, Le Ripault, LETI, Cadarache), CNES, IFREMER, CERIMED, Institut des Neurosciences Cognitives de Méditerranée Marseille, LMA, LP3, LOA, ..., **industrielles** : SUEZ, Cristal Laser, Thales, ST Microelectronics, Silios Technologies, Amplitude Technologies, IBS, CILAS Marseille, Shaktiware....,

■ INTERNATIONALES

ESA, DLR (Allemagne), Livermore LLNL, Universités de Vilnius (Lituanie) (programme GILIBERT), de Porto Alegre (Brésil) (Pr Flavio Horowitz), de Sherbrooke, Québec (Canada), de Zhejiang (Pr Liu Xu) (Chine, thèse en cours), ICFO Barcelone....

- Des travaux théoriques et expérimentaux sur le filtrage colorimétrique dans les imageurs CMOS à partir de structures plasmoniques
- La mise en œuvre d'une métrologie spécifique pour l'étude de l'endommagement laser dans les cristaux non linéaires et particulièrement dans les cristaux biaxes
- La mise au point d'un procédé laser de traitement des optiques en silice à haute tenue au flux
- Invités au laboratoire:
 - Pr Flavio Horowitz, Université de Porto Alegre, Professeur invité Ecole Centrale Marseille, Janvier Février 2008.
 - Dr Andrius Melninkaitis, Université de Vilnius Lituanie, Novembre 2009, Bourse Ambassade de France.

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

Organisation de la Journée Thématique COUCHES MINCES OPTIQUES organisée par l'Institut FRESNEL et CILAS-Marseille sous le parrainage de la SFO et avec le soutien de POP Sud, 8 février 2008, Ecole Centrale Marseille

■ PRIX ET DISTINCTIONS

- Commandre M., Natoli J.-Y., Gallais L., Wagner F., Amra C., "Optical characterization in laser damage studies», Laser Induced Damage Symposium

Boulder Colorado États-Unis d'Amérique (2006) - Prix "Best oral paper"

- Hildenbrand, Wagner, Akhouayri, Natoli, Commandré, "Laser damage metrology in biaxial nonlinear crystals using different test beams", Laser-Induced Damage in Optical Materials 2007, SPIE 6720, p. 6720-44 - Prix du Meilleur poster à la conférence "Laser-Induced Damage in Optical Materials 2007", (Boulder, Colorado, Etats-Unis)

- Vauselle A., Pontillon Y., Gallais L., «Development of an optical method to measure deformations of nuclear fuel cladding», HOTLAB 2009 (Hot laboratories and remote handling Conference), Prague, République Tchèque, 2009 - Prix de la Meilleure présentation

■ **MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX**

C. AMRA

- Membre du comité scientifique de la conférence Annual Boulder Damage Symposium SPIE (Colorado USA) en 2006 et 2007
- Membre du comité scientifique de "Optical Interference Coatings" (Optical Society of America OSA, Tucson Arizona) (TUCSON 2007)

M. COMMANDRE

Comités de programme de congrès internationaux

- Membre du comité scientifique de la conférence Annual Boulder Damage Symposium SPIE (Colorado USA) depuis 2008
- Membre du comité scientifique de la conférence : "Advances in optical thin films" in Optical Systems Design (SPIE) (Glasgow 2007 et Marseille 2011 à venir)
- Membre du comité scientifique de "Optical Interference Coatings" (Optical Society of America OSA, Tucson Arizona) (TUCSON 2007 et 2010)

Carole Deumié

Membre du Comité Scientifique du Club Mesures Optiques pour l'industrie depuis 2007

■ **ACTIVITES DE CONSULTANCE**

JY. NATOLI

Expert auprès de l'ESA-ESTEC (European Spatial Agency- European Space Research and Technology Centre), Noordwijk Hollande (**2004-2008**) sur les problèmes d'endommagement laser des optiques dédiées au spatial (European Spatial Agency) membre du groupe "Laser Risk Reduction Working Group", sur l'endommagement laser le cadre du projet ALADIN (Atmospheric Laser Doppler Lidar Instrument).

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

CLAUDE AMRA :

- Directeur Adjoint Scientifique au CNRS & INSIS & section 08 en Septembre 2009
- Président du Comité d'Evaluation ANR/P3N en 2009
- Membre élu en 2008 au Comité National de la Recherche Scientifique, section 08- Membre du bureau- jusqu'en Septembre 09
- Membre nommé au Conseil National des Universités (63ième section, 2003-2007 et 2007-2008)
- Mandaté par le CNRS en 2008 pour animer un groupe d'experts à l'échelle nationale et établir un bilan sur la photonique française
- Initiateur et co-créateur du GIS "Photonique et Instrumentation Avancée". Direction de ce GIS (2005-2007)
- Chargé de mission DS9 (2007), expert scientifique pour le Comité National, expert AERES, expert ANR
- Membre nommé au Conseil Scientifique du département ST2I en 2006
- Co-animateur du Schéma Stratégique Régional de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche pour la Région PACA (préparation du CPER 07-13, Assises Régionales de la Recherche)
- Membre du Collectif Andromède PACA
- Membre Fondateur et membre élu (01-07) du Conseil d'Administration du "Pôle d'Optique et de la Photonique du Sud", membre du bureau de Pop Sud jusqu'à 2006- Membre du Comité de Pilotage du pôle de compétitivité OPTITEC (2005-2010)- Représentant de l'Université Paul Cézanne et du CNRS à ce pôle
- Représentant du CNRS pour représenter l'organisme au Conseil Scientifique du pôle de compétitivité "Systèmes Communicants Sécurisés"
- Représentant de l'université Paul Cézanne au CA de Centrale Marseille jusqu'en 2007- Membre élu au Conseil d'Administration de Centrale Marseille depuis 2009
- Membre nommé au Conseil Scientifique de Centrale Marseille jusqu'en 2008
- 2000-2008 : co-créateur et directeur de l'institut Fresnel- Site unique & rénovation + espace photonique CPER

MIREILLE COMMANDRE

Expertises dans les instances d'évaluation : CNU 63, DGRI, ANR, AERES, ANRT

- Membre nommé du CNU 63ème section depuis 2007
- Expert pour la DGRI depuis 2008, Groupe d'Expertise Scientifique 3 (Mathématiques, STIC, micro et nanotechnologies)
- Expert pour l'ANR (expertises projets) et membre du comité d'évaluation de l'ANR MATETPRO en 2010
- Expert AERES, membre du comité de visite de l'IEF (2009) et l'INL (2010), expertise master en 2008
- Expert pour l'OSEO/AII (Projet MinImage en 2009 et 2010)
- Expert pour l'ANRT (thèses CIFRE)
- Expert pour différentes instances régionales (Régions Rhône Alpes et Aquitaine)

- Membre de la commission PEDR 63 ème section en 2007 et 2008 puis PES en 2009.

Fonctions électives

- Vice présidente (2005-2007) puis présidente de la commission pluridisciplinaire de spécialistes de l'Ecole Centrale Marseille jusqu'en 2008.
- Membre élue du Conseil Scientifique et du Conseil des Etudes de Centrale Marseille jusqu'en septembre 2008

Fonctions dans des instances locales et nationales

- Membre nommé du CNU 63ème section depuis 2007
- Membre du Comité Stratégique de ARCSIS (à titre individuel) et membre du Conseil d'Administration jusqu'en juin 2008. Membre de ces instances régionales depuis une douzaine d'années (CREMSI puis ARCSIS) et en particulier membre du CA et du CS simultanément depuis 4 ans. Participation à la mise en place des plateformes CIM PACA ainsi qu'à la création du pôle de compétitivité SCS. (ARCSIS et Telecom Valley sont les deux associations porteuses du pôle SCS).
- Membre de la commission projets du pôle de compétitivité Solutions Communicantes Sécurisées SCS en 2006
- Membre nommé des commissions de spécialistes 63ème des Universités de Provence et Paul Cézanne jusqu'en 2007/2008
- Membre de comités de sélection en 2008 (Univ. Paul Cézanne Aix Marseille III), 2009 (Univ. De Provence Aix Marseille I et Paul Cézanne) et 2010 (Ecole Centrale Marseille, Univ. Paul Sabatier Toulouse, Univ. Paul Cézanne Aix Marseille III).
- Membre du comité d'évaluation de l'ANR MATETPRO en 2010
- Membre de la commission PEDR 63 ème section en 2007 et 2008 puis PES en 2009.
- Membre du conseil des études de Polytech Marseille
- Membre du CA du pôle CNFM PACA

Responsabilités pédagogiques

- Responsable du parcours de 3A ECM Microélectronique et Systèmes Avancés jusqu'en 2009
- Responsable du parcours de 3A ECM Optique et Photonique à partir de 2009.

CAROLE DEUMIE

Responsabilités pédagogiques :

- Responsable des Projets de Deuxième année à l'Ecole Centrale Marseille jusqu'en 2007
- Directrice des Etudes 1A 2A Ecole Centrale de Marseille en 2007/2008
- Directrice de la Formation à l'Ecole Centrale de Marseille depuis 2008
- Membre de la commission des Titres de l'Ingénieur depuis 2008

JEAN YVES NATOLI

- Responsable du Master recherche OPSI (Optique et Photonique, Signal et Image) depuis 2008 (spécialité du Master Physique). Co-habilitation avec les trois universités Marseillaises et L'Ecole Centrale Marseille. Ouverture à la rentrée 2010 d'un parcours Erasmus Mundus "Ingénierie Photonique, Nanophotonique et Biophotonique" porté par H.Giovannini (20 étudiants boursiers)

- Correspondant pour l'université Paul Cézanne du Master Pro IOL (Instrumentation Optique Laser), et enseignant et de ce Master.
- Coordinateur nommé par le GIS photonique et POP Sud, le pôle de compétitivité optique et photonique, pour créer une nouvelle offre de formation en photonique dans l'aire Marseillaise au niveau Ingénieur. L'École Polytech Marseille a été sollicitée dans ce sens. L'ouverture d'une formation est envisagée en septembre 2012 dans le cadre de la fusion des trois universités Marseillaises. Les Acteurs concernés par cette opération sont : Polytech Marseille, Aix Marseille Université, l'École Centrale Marseille, le GIS photonique et POP Sud.
- Représentant pour POP Sud (2010) pour promouvoir les actions de formation (continue ou initiale) dans le domaine de la photonique auprès de l'ensemble des acteurs régionaux et nationaux.
- Organisateur et à l'origine des journées des doctorants de l'Institut Fresnel (JDD-IF) (7 éditions) : Cette journée mise en place en 2003 réunit l'ensemble des doctorants de l'Institut Fresnel. Elle s'organise autour d'un ensemble d'exposés par tous les doctorants
- Membre élu (collège A) du Conseil Scientifique de l'université Paul Cézanne Aix-Marseille III depuis 2008.
- Membre (collège A) de la Commission Recherche de l'université Paul Cézanne Aix-Marseille III depuis 2008.
- Membre nommé du bureau du Département Science de la Matière de la Faculté des Sciences et Techniques de l'université Paul Cézanne depuis 2008.
- Membre nommé du Conseil de Département Science de la Matière de la Faculté des Sciences et Techniques de l'université Paul Cézanne depuis 2008.
- Membre élu (collège A) de la commission de spécialistes 63eme section et nommé en 30eme section de l'Université Paul Cézanne- Aix Marseille III respectivement pour les campagnes d'emploi 2007, 2006 et 2005.
- Coordinateur du comité de sélection de la section 63 pour les campagnes d'emploi 2008-2009 et 2009-2010. Membre de ce comité pour ces mêmes campagnes d'emploi.
- Membre élu (collège A) du conseil de laboratoire de l'Institut Fresnel Marseille depuis 2006.
- Membre élu (collège A) de la commission de spécialistes 63eme section et nommé en 30eme section de l'Université Paul Cézanne- Aix Marseille III de 2005 à 2007. Respectivement pour les campagnes d'emploi 2007, 2006 et 2005.
- Coordinateur et membre des comités de sélection de la section 63 pour les campagnes d'emploi 2008-2009 et 2009-2010 (Université Paul Cézanne).

LAURENT GALLAIS

- Membre élu de la Commission Pluridisciplinaire de Spécialistes de l'École Centrale Marseille, de 2006 à 2008.
- Membre élu du Conseil Scientifique de l'École Centrale Marseille, de 2007 à 2008.
- Membre du Comité Hygiène et Sécurité de l'Institut Fresnel, depuis 2005. En charge de l'aspect 'sécurité laser du laboratoire' (une vingtaine de lasers de Classe IV).

- Responsable du Réseau Optique et Photonique du CNRS depuis 2010
- Responsable des projets transverses Ecole Centrale Marseille à partir de 2010

ANABELA DASILVA

- Membre du comité scientifique de la conférence European Conference on Biomedical Optics (SPIE) 2009

Expertises :

- Expert externe pour les Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT)
- Expert auprès du Conseil Régional du Centre pour une durée de trois ans (arrêté n°2010-1166)
- Expert externe pour le Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)
- Referee pour les conférences IEEE-EMBC 2008 et IEEE Mediterranean - Conference on Control and Automation 2008 ;
- Chairwoman IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation 2008
- Reviewer OSA (Applied Optics, Optics Express, Optics Letters)

Pour les autres membres de l'équipe, voir les fiches individuelles

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

- **CAROLINE FOSSATI** : Novembre 2008 : "*Optique pour la Microélectronique : du capteur au traitement de l'image*"

THESES

- **EN COURS**

12 doctorants en cours de thèse dans l'équipe.

- **SOUTENUES**

9 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

Sur les 21 doctorants de l'équipe dans ce quadriennal, il y a une Algérienne (Master Géosciences et Génie Civil - Nancy), un Chinois (Université de Zhejiang), une Italienne (Politecnico de Milan), un Sénégalais. Les 17 autres sont Français. Parmi ces derniers, deux doctorants sont diplômés de l'Institut d'Optique, un de l'ENSATT de Lannion, deux de l'INP Grenoble, un de

Polytech' Nantes, sept de Centrale Marseille, un du Master MINELEC, un du Master IOL, un du Master OPSI et enfin un agrégé de physique.

■ DEVENIR DES DOCTORANTS

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
H. KROL	Ingénieur	CILAS Aubagne - France
M. ZERRAD	Ingénieur	UPCAM - Institut Fresnel - Marseille - France
E. ROBERT	Ingénieur	Aeroconseil/Seditec - Toulouse - France
G. GEORGES	MCF	ECM - Institut Fresnel - Marseille - France
L. ARNAUD	ATER	Institut Charles Delaunay - Troyes - France
J. CAPOULADE	Post-doc	Allemagne
A. HILDENBRAND	Ingénieur	Institut St Louis - France
G. DEMESY	Post-doc	University of Toronto - Canada
A. CIAPPONI	Ingénieur	DLR Stuttgart - Allemagne

AUTOEVALUATION DE MAP2

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Strengths (Forces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Couplage modélisation/expérience, problèmes inverses ▪ Du macro au micro, du fondamental à l'applicatif ▪ Thématiques pluridisciplinaires : électromagnétisme, thermique, optique statistique, transfert radiatif, bilan énergétique, propriétés électroniques des matériaux... ▪ Large gamme d'équipements et d'outils de modélisation disponibles ▪ Reconnaissance internationale 		<p style="text-align: center;"><i>Weaknesses (Faiblesses)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Question de la maintenance du parc d'instruments et des plateformes, aussi bien sur le plan financier que ressources humaines ▪ Dispersion de l'espace expérimentation et disponibilité en temps d'utilisation pour les différents projets
Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Opportunities (Opportunités)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nombreux domaines d'application : biomédical, génie des procédés, environnement, capteurs, interaction laser/matière en régime ultra-bref... ▪ Intégration dans l'espace photonique (photoinscription, micro/nanostructuration...) ▪ Implication dans des projets de grande ampleur : CERIMED, ASUR ▪ Collaborations inter-équipes 		<p style="text-align: center;"><i>Threats (Menaces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte implication des seniors dans des postes à responsabilités et charges collectives ▪ Augmentation considérable des contraintes dans la gestion de la recherche, du temps passé au montage des projets, à la gestion financière

PROJET MAP2

Le bilan que nous venons de présenter montre qu'à partir de ses expertises (en 9 mots clés : couplage théorie expérience, problèmes inverses, instrumentation, métrologie, multicouches optiques, diffusion, absorption, polarisation, endommagement laser) l'équipe a considérablement élargi les domaines d'application abordés durant ces dernières années (biomédical, environnement, capteurs, lasers de forte puissance crête à durée d'impulsion largement subpicoseconde, procédés laser). Notre projet s'inscrit dans la continuité de ces développements qui vont se prolonger et nous allons présenter par thème (diffusion, capteurs, interaction forts flux) les projets qui démarrent ou encore en gestation.

■ THEME 1 : DIFFUSION LUMINEUSE

Les développements fondamentaux autour de la modélisation électromagnétique et son couplage avec l'optique statistique ont accompagné des développements instrumentaux conséquents, notamment pour l'étude de la polarisation et de l'imagerie sélective en milieu complexe.

Dans ce contexte, nous pensons mettre la priorité sur les objectifs suivants :

- accroître l'effort sur les aspects fondamentaux: polarisation partielle multi-échelle, couplage électromagnétisme & optique statistique, modélisation structures aléatoires complexes et épaisses.
- mettre en synergie les nouveaux outils théoriques (transfert radiatif, méthode différentielle 3D) avec les acquis plus anciens (théorie de Mie et Mie multicouche, méthodes perturbatives).
- poursuivre les développements instrumentaux : en effet, si ceux-ci sont mis en avant pour valider les prédictions théoriques, ils sont également source d'inspiration pour nombre de concepts&idées. Nous souhaitons de plus conserver une activité support dans le domaine de la métrologie multiéchelle.
- nous implanter durablement dans le domaine biomédical

Ces priorités seront déclinées à travers les projets suivants :

- *Th1-1 : Polarisation et Diffusion*

L'analyse quantitative de l'état de polarisation du speckle a ouvert la voie à de nombreuses applications et nous conduit à introduire le concept de dépolarisation multiéchelle. Une approche statistique est développée en regard avec la modélisation électromagnétique. Un projet est initié, abordant ces aspects fondamentaux et débouchant sur le concept du codage d'images imbriquées. L'ensemble doit être généralisé dans le cas des volumes. Le projet implique plusieurs partenaires : Institut Fresnel (équipes MAP², SEMO, HIPE, RCMO), Onera, LATP. L'ANR "TRAMEL" portée par l'équipe vient d'être acceptée dans le cadre de l'appel blanc 2010.

- *Th1-2 : Imagerie sélective en milieu diffusant*

La problématique de la discrimination des sources de diffusion nous a amenés à explorer les diverses propriétés de l'onde diffusée (état de polarisation, cartographies des propriétés de surfaces, variations spectrales).

L'activité s'oriente vers la caractérisation sélective des sources, conduisant à une imagerie sélective en milieu diffusant :

- **Sélective en polarisation** : les fondamentaux développés dans le point 1-1 sont utilisés pour concevoir des dispositifs imageurs. Des applications sont à l'étude pour réaliser une annulation sélective en profondeur, applicable dans le cas des empilements multicouches.

- **Imagerie de cohérence** : dans le cadre d'un programme Canceropôle PACA, l'OCT développé permet aujourd'hui une imagerie résolue en x,y,z et est appliqué à l'analyse en profondeur des tissus biologiques (cornée, peau) (thèse O. Casadessus). La configuration est classique en première approche, et sera couplée prochainement avec les aspects polarisation présentés ci-dessus, afin d'améliorer le contraste dans le cas de milieux très diffusants. Une analyse quantitative des paramètres de diffusion en volume est visée. Nous souhaitons également aborder l'imagerie de matériaux poreux et hétérogènes en volumes (membranes, métamatériaux).

- **Microscopie exaltée / plasmonique** : design d'empilements multicouches pour exalter des effets de résonance afin d'améliorer le contraste pour des biocapteurs. ANR SEEC en cours (thèse C. N'Diaye).

- **Th1-3 : Secteur Santé et Biomédical**

Cette activité initiée récemment bénéficie du recrutement d'un chercheur CR1 spécialiste de cette thématique. Trois autres permanents de l'équipe s'y impliquent également. Nous avons rapidement ouvert plusieurs champs d'investigation : imagerie biomédicale, dynamisée par une interaction forte avec le centre CERIMED, santé et cosmétiques. Plusieurs projets sont en cours :

- **Cornée** : Le développement d'un OCT a permis d'initier une collaboration fructueuse avec l'APHM (service Ophtalmologie). Le projet DCOUP, financé par la région (partenariat avec le LP3 et APHM), s'intéresse à la qualité de la découpe de la cornée en profondeur dans le cas de la chirurgie de l'oeil. Par ailleurs, une étude plus fondamentale des propriétés de diffusion de la cornée dans le cas de pathologies de la vision est menée avec l'APHM et l'EFS (thèse en cours). Les propriétés des états de surface et de volume ont été rapidement mises en évidence. Ce programme va s'orienter vers une évolution du dispositif OCT afin d'accéder à une analyse quantitative des paramètres de diffusion en volume, et une aide au diagnostic.

- **Imagerie du cerveau** : partenariat en cours avec INCM, pour l'optimisation de l'imagerie du cerveau chez des primates.

- **Photoacoustique** : programme en cours de dépôt, visant à développer une approche multiphysique pour l'imagerie du sein, en partenariat avec le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique.

A travers ces développements l'équipe adressera également d'autres domaines d'application : Environnement, Restauration/ patrimoine, ainsi qu'une veille systématique pour les développements métrologiques associés à la création de nouveaux matériaux.

■ **THEME 2 : CAPTEURS**

Les développements théoriques (modélisation électromagnétique 3D de composants micro et nanostructurés) et expérimentaux (caractérisation de la réponse spectrale de détecteurs) faits pour les imageurs CMOS trouvent des applications nouvelles au travers de différents projets qui démarrent à peine:

- Développement de **composants plasmoniques pour filtrage spectral** pour application à l'imagerie multispectrale : Thèse Benjamin Vial, CIFRE Silios qui démarre en mars 2010, et Projet SPECTROGAZ soumis au FUI, "Spectro-imageur infrarouge statique pour la détection de gaz", labellisé pôle de compétitivité POP SUD (collab BERTIN, Silios, CLARTE).

- Développement de procédés d'implantation par immersion plasma pour la réalisation de jonctions des cellules photovoltaïques à haut rendement. Plus précisément deux types d'application sont envisagés : procédé de réalisation des émetteurs de cellules solaires à haut rendement, procédé de réalisation de jonctions optimisées pour détecteurs de rayonnement (visible, UV et détecteurs de particules), réalisation des dopages face arrière à très faible budget thermique pour imageurs spéciaux. Thèse Thomas Michel, CIFRE IBS, début janvier 2010.

■ **THEME 3 : INTERACTION LASER MATIERE AUX FORTS FLUX**

Les thèmes nouveaux introduits dans ce dernier quadriennal (interaction laser matière pour les durées d'impulsion subpicoseconde, cristaux non linéaires, couches minces à gradient d'indice, procédés laser) seront poursuivis. Des développements instrumentaux sont prévus mais une priorité sera de renforcer les développements théoriques : modélisation multiphysique pour la compréhension des mécanismes de l'endommagement laser du continu à la nanoseconde ainsi que la modélisation des phénomènes électroniques pour les durées d'impulsion subpicoseconde et/ou dans les cristaux non linéaires. Ces travaux se feront dans le cadre de projets ci-dessous :

- **Interaction laser matière dans les cristaux non linéaires**, dans le cadre du réseau Cristaux massifs pour l'optique en collaboration avec des laboratoires de croissance et caractérisation et des industriels fabricants ou utilisateurs. Un projet d'ANR est en cours de montage. Les points clefs à adresser sont :

- **l'influence de la polarisation** sur la tenue au flux dans les cristaux non linéaires (exemple de KTP, RTP et LBO). Une proposition d'explication implique un mécanisme de saut d'ion induit par la lumière. La compréhension des phénomènes nécessite des expériences de spectroscopie Raman ou Brillouin. Des simulations numériques pourront être utilisées pour discerner différents scénarios de transfert d'énergie entre la lumière et les cations

- l'étude de la **fatigue et de la croissance des défauts**, qui limite la durée de vie des optiques ; étude capitale pour les applications spatiales notamment où un grand nombre de tirs est considéré. La nature des défauts initiateurs (intrinsèques ou photoinduits ?), leur comportement sous irradiation (présence sous le faisceau, probabilité d'initier l'endommagement...) sont des paramètres clés à déterminer pour définir les voies de l'amélioration de la tenue au flux et de la durée de vie.

- coopérativité des mécanismes d'endommagement dans le cas **d'irradiation multi longueurs d'onde** (cas des cristaux de conversion de fréquences).

- **Etude de l'endommagement laser dans les couches minces** pour lasers continus et des durées d'impulsion jusqu'aux femtosecondes. L'étude de la tenue au flux (régimes nanoseconde, pico et femto) des couches à gradient d'indice commencée avec l'Université de Vilnius dans le cadre du projet GILIBERT (PHC) et du réseau européen Laserlab Europe sera continuée. Dans le cadre de l'espace photonique, l'étude sera étendue à d'autres matériaux en collaboration avec RCMO. L'approche sera à la fois théorique et expérimentale pour l'étude de l'origine des sites initiateurs de l'endommagement et des mécanismes de fatigue.

- **Endommagement laser faisceau continu ou quasi continu**. Modélisation électromagnétique, thermique et statistique pour étude de l'initiation de l'endommagement. Modélisation multiphysique de l'endommagement laser et du vieillissement (projet FEDER/BQR, collab SILIOS). Projet d'ANR Spectroselect avec PROMES (Odeillo). Etude du vieillissement de composants multicouches, filtres spectraux sous flux solaire concentré.

- **Matériaux et composants micro et nanostructurés**. Compréhension des mécanismes de l'endommagement laser, modélisation multiphysique (électromagnétique et thermique), métrologie. Exemples de composants : lames de phase, réseaux. Collaborations Silios Technologies, Université de Porto Alegre (Brésil).

- **Photoinscription et micro nano structuration par laser femtoseconde**. Cette thématique s'inscrit dans la continuité de l'ANR FESTIC terminée en 2010 et portant sur la photoinscription dans les couches minces optiques et multicouches. Elle est placée dans le cadre de l'espace photonique et du projet Fresnel pour le grand emprunt.

BILAN SCIENTIFIQUE MOSAIC

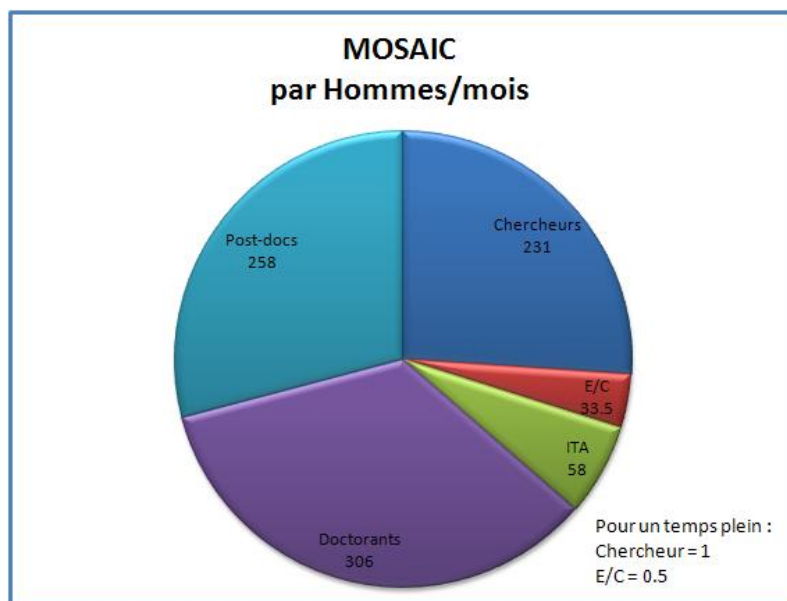
Responsable d'équipe : Hervé RIGNEAULT

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
BRASSELET Sophie	CR1	CNRS (MCF jusqu'au 01.10.07)
FERRAND Patrick	MCF	UPCAM
LENNE Pierre-François	CR1	CNRS (départ à l'IBDML : 01.09)
MONNERET Serge	CR1	CNRS
RIGNEAULT Hervé	DR2	CNRS
WENGER Jérôme	CR1	CNRS

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
ANDRESEN Esben	Post-doctorant	
BRUSTLEIN Sophie	Post-doctorant	
GACHET David	Post-doctorant	
HOSTEIN Richard	Post-doctorant	
LE MOAL Eric	Post-doctorant	
SAVATIER Julien	Post-doctorant	
AIT-BELKACEM Dora	Doctorante (30 % PHYTI)	2011
AOUANI Heykel	Doctorant	2011
BERTO Pascal	Doctorant	2012
BON Pierre	Doctorante	2011
GASECKA Alicja	Doctorante	2010
GIRARD Jules	Doctorant	2011
KRESS Alla	Doctorante	2011
MUNHOZ Fabiana	Doctorante	2010
SCHOEN Peter	Doctorant	2010



231 Homme/mois ETP de chercheurs + 33,5 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 22 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 4,9 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

L'équipe MOSAIC place son champ d'investigation scientifique autour de la Biophotonique et de la Nanophotonique. Son expertise est la conception, le développement et la mise en œuvre d'outils photoniques originaux et de méthodes associées, pour des applications le plus souvent réalisées en partenariat avec des chercheurs des sciences du vivant.

L'équipe est organisée autour de deux grandes thématiques baptisées "**Biophotonique et Imagerie**" et "**Nanophotonique**".

L'équipe MOSAIC est constituée de 5 chercheurs CNRS et 1 enseignant-chercheur permanents, d'un Ingénieur de recherche et de 15 doctorants et post-doctorants (données d'avril 2010).

De par son expertise forte en optique et instrumentation associée, MOSAIC collabore très étroitement avec le Centre d'Immunologie de Marseille Luminy (CIML - Equipe de D. Marguet et H.T. He et avec l'Institut de Biologie du Développement de Marseille Luminy (IBDML - Equipes de P.-F. Lenne et Thomas Lecuit). Ces collaborations actives ont été concrétisées par les déplacements définitifs d'outils instrumentaux complets mis au point à Mosaic, vers ces unités : les montages de "Microscopie FCS", "Pincés Optiques Holographiques" et "Single Particle Tracking" ont été transférés au CIML; ceux concernant "l'ultrarésolution Optique PALM" et la "Nanodissection laser" ont été transférés à l'IBDML. Tous ces montages sont actuellement utilisés quotidiennement par des biologistes des ces laboratoires.

RESULTATS MARQUANTS

Nous détaillons ici successivement les deux axes de recherche "Biophotonique et Imagerie" et "Nanophotonique" menés dans l'équipe Mosaic.

NB : Nous avons choisi de ne citer ici que quelques références représentatives (voir en annexe la liste complète des publications).

■ THEME 1 : BIOPHOTONIQUE ET IMAGERIE

Ce premier axe de recherche concerne principalement l'étude des mécanismes de contraste, l'amélioration de la résolution optique, la manipulation d'objets et leurs applications dans les domaines de la biologie cellulaire et tissulaire, toujours réalisées en concertation et collaboration étroites avec le CIML (biologie cellulaire) ou l'IBDML (biologie du développement).

- *Th1-1 : La spectroscopie de corrélation de fluorescence (FCS) et ses développements.*

(Chercheurs impliqués : P.-F. Lenne ; P. Ferrand ; J. Wenger ; C. Favard ; H. Rigneault)

Il s'agit du sujet historique autour duquel l'équipe Mosaic a été construite au début des années 2000 pour tenter d'analyser l'architecture dynamique nanométrique très complexe mais essentielle de la membrane cellulaire. L'apport majeur du groupe a été le développement théorique, méthodologique et instrumental des "lois de diffusion FCS" [283, 284, 306] en collaboration avec Didier Marguet du CIML. De façon remarquable, ces lois présentant l'évolution du temps de diffusion translationnel en fonction de la surface éclairée permettent de mettre en évidence la présence de confinements nanométriques subis par une molécule marquée se déplaçant sur la membrane cellulaire. Ce champ d'investigation est toujours actif, au CIML (où un montage de FCS a été transféré) comme dans l'équipe Mosaic où les lois de diffusion FCS sont utilisées pour étudier finement la diffusion confinée dans des membranes biomimétiques modèles constituées d'un mélange lipidique biphasique.

En complément des systèmes de FCS existant dans l'équipe, un nouveau système plus versatile a été développé récemment. Basé sur une configuration confocale à deux volumes d'observation indépendants, il permet d'analyser, avec une flexibilité inégalée, les corrélations de fluorescence dans le domaine spatio-temporel. Un ensemble complet de procédure de calibration a été mis au point [321] et le système est aujourd'hui opérationnel pour étudier la diffusion du récepteur MHC (Major HistoCompatibilité) dans les membranes cellulaires. Avec ce même dispositif, nous commençons l'étude de la diffusion rotationnelle des récepteurs en effectuant les corrélations temporelles entre les signaux issus des deux états de polarisation orthogonaux de la lumière rayonnée par ces récepteurs marqués.

Cousin de l'approche FCS, le suivi de particules individuelles effectué en champ large et utilisant des caméras très sensibles a été développé en collaboration avec le

CIML et l'équipe PHYTI de l'Institut Fresnel. La contribution majeure a été sans aucun doute la mise au point de l'algorithme MTT (Multi Target Tracing) mis à la disposition de la communauté internationale et très largement utilisé [40].

- *Th1-2 : Les contrastes nonlinéaires (CARS, SHG, TPEF) et leur étude polarimétrique.*

(Chercheurs impliqués : S. Brasselet ; P. Ferrand ; H. Rigneault)

Motivé à l'origine par la possibilité de réaliser des images sans marqueur fluorescent, le développement des contrastes non linéaires s'est très largement développé au cours de ce quadriennal dans l'équipe.

C'est tout d'abord à travers la microscopie CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering) que l'équipe a pu se distinguer en proposant des modes de mesures aux interfaces permettant de s'affranchir du bruit non résonnant toujours limitant pour l'imagerie moléculaire [294, 303, 304, 328].

Du point de vue des applications la technique CARS a été utilisée pour étudier la pénétration de l'eau dans la peau [291], et plus récemment pour l'identification des différents stades d'évolution des mélanomes à travers le projet Européen CARSExplorer.

Nous étudions maintenant comment le contrôle de l'état de polarisation du champ incident, associé à la mesure de l'état de polarisation du champ émis, permet d'apporter des informations structurales sur les assemblages moléculaires de signatures vibrationnelles CARS identifiées [324].

Des études similaires menées dans l'équipe sur la génération du second harmonique (SHG) et la fluorescence à deux photons (TPEF) ouvrent un champ d'investigation très vaste et prometteur. Dans ces modes de réalisation il s'agit de sonder la réponse SHG et/ou TPEF polarisée lorsque l'on fait tourner l'état de polarisation linéaire du champ incident. Nous avons ainsi pu révéler la structuration moléculaire dans des nanocristaux organiques, celle de molécules fluorescentes insérées dans des nanocanaux de zéolites [329] et plus récemment l'ordre moléculaire local dans des membranes artificielles et cellulaires [323].

Cette approche polarimétrique, couplée à l'imagerie, ouvre la voie vers la réalisation d'images hyper-spectrales où la troisième dimension provient d'un diagramme polarimétrique rapportant des informations sur l'organisation orientationnelle moléculaire. Un microscope polarimétrique multimodal adressant les contrastes de TPEF, SHG et CARS simultanément, est en cours de calibration [311].

Pour compléter nos travaux, nous abordons également le difficile problème de l'endoscopie nonlinéaire où les fibres optiques, à travers leurs propriétés linéaires et nonlinéaires, affectent les faisceaux excitateurs ainsi que les signaux collectés.

- *Th1-3 : Le contrôle de la phase spectrale: la mise en forme temporelle d'impulsions pour un contraste optimal en microscopie non linéaire*

Chercheur impliqué : S. Brasselet

Dans le cas où des résonances moléculaires électroniques (contrastés TPEF et SHG) ou vibrationnelles (CARS) sont adressées, le contrôle de la forme temporelle de l'impulsion joue un rôle important dans le rendement des processus

multiphotoniques. Il est également possible de manipuler le profil de phase spectral d'une impulsion pour exalter (interférence constructive) ou au contraire annihiler (interférence destructive) un processus SHG dans un milieu donné. Prenant son origine dans le domaine du contrôle cohérent, la mise en forme d'impulsions ultra-courtes a été récemment étendue au domaine de la microscopie optique avec l'ambition de réaliser une imagerie spectrale contrôlée et sélective. Le dispositif construit dans l'équipe Mosaic utilise un façonneur d'impulsion permettant de contrôler à la fois la phase, l'amplitude et la polarisation du faisceau incident. Une mise en œuvre originale de ce dispositif a été proposée par l'équipe pour sonder le tenseur non linéaire du deuxième ordre (SHG) de co-cristaux moléculaires [330]. Une étude est en cours en collaboration avec l'équipe PHYTI de l'Institut Fresnel pour définir comment optimiser la lecture sélective structurale de l'ordre moléculaire à partir d'une optimisation en phase et polarisation des profils spectraux d'excitation. Ce microscope "à façonnage d'impulsion" est actuellement utilisé pour sonder et optimiser la réponse non linéaire de nanoparticules métalliques.

- *Th1-4 : Le contrôle et l'étude de la phase spatiale pour la manipulation et l'imagerie.*

Chercheur impliqué : S. Monneret

La mise en forme spatiale de fronts d'ondes a tout d'abord été développée dans l'équipe pour réaliser des pinces optiques holographiques (HOT - Holographic Optical Tweezers) permettant de manipuler plusieurs objets simultanément (cellules ou billes), ceci de façon interactive et de plus compatible avec une imagerie simultanée de fluorescence. Le montage est basé sur un modulateur de front d'onde (SLM - Spatial Light Modulator) pouvant être contrôlé en temps réel pour afficher des hologrammes de phase générant dans le plan focal d'un objectif de microscope un ensemble de faisceaux focalisés à la limite de diffraction, capables de piéger individuellement des objets micrométriques. Ces travaux étaient essentiellement destinés à permettre l'activation locale de membranes cellulaires, par contacts entre billes fonctionnalisées et cellules adhérentes avec éventuellement la possibilité de séparer les billes des cellules grâce à des réservoirs fabriqués par microstéréolithographie [297]. L'appareillage a été transféré au CIML où il est maintenant utilisé pour stimuler l'activation du récepteur à l'EGF par des billes fonctionnalisées piégées. Ces stimulations génèrent des vagues calciques détectables par fluorescence. Nous avons par ailleurs montré que l'on pouvait efficacement travailler dans plusieurs plans suivant l'axe optique en subdivisant le SLM en sous-hologrammes [287]. Enfin, les pièges optiques étant souvent utilisés pour mesurer des forces, nous avons également développé une technique permettant de calibrer l'ensemble des puits de potentiel optiques d'une distribution de pièges multiples [300].

Ces travaux permettant de façonner la phase spatiale d'un front d'onde nous ont amenés à tenter de mesurer finement cette distribution de phase en employant un analyseur de front d'onde développé par la société Phasics (Palaiseau, France), afin d'optimiser les algorithmes de calculs d'hologramme. Ceci a finalement conduit au développement d'une nouvelle application de la mesure de front d'onde, ainsi que

d'un nouveau produit commercialisé par la société, pour la microscopie de phase quantitative en champ clair sur cellules vivantes [319]. La collaboration prend maintenant de l'ampleur, avec le développement en cours d'un procédé original de tomographie de phase applicable au marché biomédical.

- *Th1-5 : Ultra-résolution optique*

Chercheurs impliqués : S. Monneret, P. Ferrand, H. Rigneault, P.F. Lenne
Ce sujet est abordé en étroite collaboration avec l'équipe SEMO.

En proposant d'inverser l'image de l'échantillon dans un des bras de l'interféromètre d'un 4Pi microscope, nous avons amélioré sa résolution longitudinale d'un facteur 2 [41, 42]. L'idée s'est poursuivie avec le concept du 'microscope à 2 images' [44] qui permet toujours d'améliorer la résolution longitudinale d'un facteur 2 mais cette fois sur un microscope confocal conventionnel. Brevetée puis récemment licenciée, cette innovation repose sur un montage interférométrique qui produit des franges d'illumination sur un détecteur conjugué du volume confocal de collection de la fluorescence.

A partir de simulations menées dans l'équipe SEMO, nous développons actuellement un microscope à illumination nanostructurée par un réseau bidimensionnel lithographié capable de générer un ensemble de plasmons de surface contra-propagatifs dont les interférences devront amener un volume d'interaction lumière/échantillon nettement sub-longueur d'onde dans les 3 dimensions de l'espace.

Par ailleurs nous avons développé un microscope PALM (Photo-Activated Localization Microscopy) maintenant transféré à l'IBDML pour étudier les agrégats de cadhérine au niveau des jonctions cellulaires lors de la morphogenèse de l'embryon de drosophile.

- *Th1-6 : Forces corticales et adhésion cellulaire dans les tissus*

Chercheur impliqué : P.-F. Lenne

L'origine des forces qui façonnent l'embryon reste largement inconnue en biologie du développement. Pour tenter de répondre à cette question, nous avons développé, en étroite collaboration avec le groupe de Thomas Lecuit à l'IBDML, une approche originale qui vise à déterminer les forces responsables du développement embryonnaire précoce. Par une combinaison de méthodes optiques, d'imagerie quantitative et de modélisation, nous avons montré que l'évolution des formes cellulaires observées est bien décrite par des modèles mécaniques simples qui ont l'avantage d'être quantitatifs [301]. Cette approche nous a permis de révéler qu'une anisotropie des forces corticales [310] suffit pour produire des changements topologiques dans le tissu (intercalation cellulaire) et orienter la morphogenèse du tissu. En particulier, nous avons mis en place un système de nanodissection utilisant un laser femtoseconde qui permet de casser le réseau d'actine à la jonction cellulaire tout en préservant l'intégrité des membranes plasmiques. Cela s'avère être un puissant outil pour l'étude des forces impliquées lors de la morphogenèse mais aussi pour étudier

les liens entre les réseaux générateurs de forces (réseau d'acto-myosine) et les molécules d'adhésion (cadhérine) [301].

Ces travaux ont permis à P.-F. Lenne d'obtenir au cours du printemps 2008 un poste de DR2 CNRS (en section relevant des sciences de la vie) mais aussi l'animation d'un groupe de recherche à l'IBDML, justifiant pleinement son départ de l'équipe.

■ **THEME 2 : NANOPHOTONIQUE**

- *Th2-1 : Nano-ouvertures individuelles pour exalter les signaux moléculaires*

Chercheurs impliqués : J. Wenger, P.-F. Lenne, H. Rigneault

La découverte en 2005 de l'exaltation de la fluorescence par des ouvertures nanométriques percées dans des films métalliques a provoqué le développement d'un grand nombre de méthodologies associées à la spectroscopie de corrélation de fluorescence (FCS), à la fois sur des aspects fondamentaux ou applicatifs.

Du point de vue fondamental nos efforts se sont tout d'abord concentrés sur l'origine physique de cette exaltation. Une collaboration fructueuse avec l'équipe CLARTE nous a tout d'abord permis d'identifier une augmentation de la densité de mode pour des diamètres de trous situés autour de la coupure (passage d'un régime guidant à un régime évanescent) [16]. Ces prédictions confirmées expérimentalement pour différents types de métaux [11] nous ont motivé pour mieux comprendre la répartition des exaltations entre le champ excitateur et le champ émis. Nous avons pour cela développé une approche originale, utilisant toute la potentialité de la FCS, qui permet de quantifier séparément les exaltations à l'excitation, à l'émission ainsi que celle non radiative [7]. Mise en œuvre sur différentes couches métalliques [12] et avec différentes couches d'accroche entre métal et verre [317], l'approche s'est révélée fructueuse pour réaliser des nano-ouvertures capables d'exalter la fluorescence avec un rapport supérieur à 20.

Du point de vue applicatif notre contribution majeure a certainement été d'utiliser les nano-ouvertures pour étendre les lois de diffusion FCS en dessous de la limite de diffraction et ainsi de révéler des inhomogénéités de diffusion d'origine lipidique jusqu'à des tailles de quelques dizaines de nanomètres [278]. Pour des analyses rapides en criblage moléculaire nous avons pu également montrer l'intérêt de l'exaltation de fluorescence qui permet d'obtenir plus rapidement des temps de diffusion en FCS [315] ou encore de réaliser plus aisément des configurations à deux fluorophores utilisant la corrélation croisée [286].

- *Th2-2 : Microsphère pour exalter les signaux moléculaires*

Chercheurs impliqués : J. Wenger, P. Ferrand, H. Rigneault

Nous nous sommes intéressés aux microsphères pour focaliser fortement des faisceaux lumineux. Une telle focalisation a pu être observée expérimentalement lorsque la sphère est éclairée par une onde plane [9]. La situation devient plus intéressante encore si la sphère est déjà éclairée par un faisceau très fortement

focalisé. C'est en collaboration avec l'équipe CLARTE que nous avons pu montrer qu'il existe un diamètre de microsphère optimal qui réalise la meilleure "sur-focalisation" et ainsi permet d'exalter la fluorescence de manière significative [10]. L'origine de cet effet est principalement interférométrique entre les champs incident et diffracté. Utilisant, comme pour les nanoouvertures, la technique FCS, nous avons pu quantifier très précisément les exaltations à l'excitation et à l'émission [13].

La simplicité du dispositif nous a motivés pour explorer ses potentialités pour des mesures FCS et nous avons pu démontrer la viabilité des analyses FCS lorsqu'on utilise une microsphère couplée à une simple lentille [313]. Plus récemment nous avons montré qu'une microsphère placée en bout de fibre optique constituait une brique de base intéressante pour réaliser des mesures FCS dans un mode endoscopique [316].

- *Th2-3 : Miroirs et Microcavités planaires pour exalter les signaux moléculaires*

Chercheurs impliqués : H. Rigneault, P.-F. Lenne

Lorsque des champs focalisés sont envoyés sur des structures planaires de type miroirs ou microcavités il en résulte des champs optiques intenses présentant spatialement des franges contrastées. Ces franges distantes de $\lambda/2$ ont été utilisées pour 'sectionner' optiquement une bactérie et ainsi réaliser des mesures de diffusion par FCS dans un univers très confiné [281]. Plus récemment nous avons utilisé des microcavités planaires pour exalter le signal CARS d'un échantillon situé entre deux miroirs fortement réfléchissants [318, 322].

CONCLUSION

L'équipe Mosaic a maintenant une dizaine d'années et deux quadriennaux derrière elle. Le premier quadriennal a été dominé par la mise en place des outils expérimentaux, le développement de la FCS et de ses applications ainsi que de l'initiation de la nanophotonique. Le deuxième est certainement celui de la maturité pour l'équipe. Nos sujets historiques autour de la FCS sont toujours actifs à travers leurs applications en biologie ; mais c'est certainement notre expertise en nanophotonique qui s'est le plus développée autour des nano-ouvertures et plus récemment des microsphères. Nos sujets initiés il y a quatre ans autour de la microscopie non linéaire se sont aussi développés de façon spectaculaire autour du CARS, mais également de la SHG, pour intégrer maintenant de façon novatrice les analyses en polarisation. Notre expertise en façonnage spatial de front d'onde développée pour les pièges optiques holographiques a été étendue au façonnage temporel pour optimiser les contrastes et lire des tenseurs non linéaires. De nouveaux sujets sont apparus comme l'imagerie de phase quantitative, ou l'ultra-résolution optique avec les techniques PALM/STORM. Il y a fort à parier que nos sujets en nanophotonique vont continuer à se développer en utilisant ces nouveaux outils.

Stimulés par les avancées de la communauté scientifique ainsi que de notre propre expertise, nous travaillons notre "boîte à outils" photonique pour l'appliquer de façon judicieuse aux sujets à l'interface en physique et biologie en essayant de pousser les analyses à l'échelle sub-longueur d'onde.

Enfin, la valeur scientifique ajoutée de l'Institut Fresnel pour Mosaic est primordiale. En effet, de nombreux sujets ont été développés étroitement avec les équipes SEMO (ultra-résolution), CLARTE (nanophotonique) et PHYTI (suivi de particules, optimisation en phase et polarisation). Nous travaillons à maintenir ces collaborations qui enrichissent toujours nos analyses.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

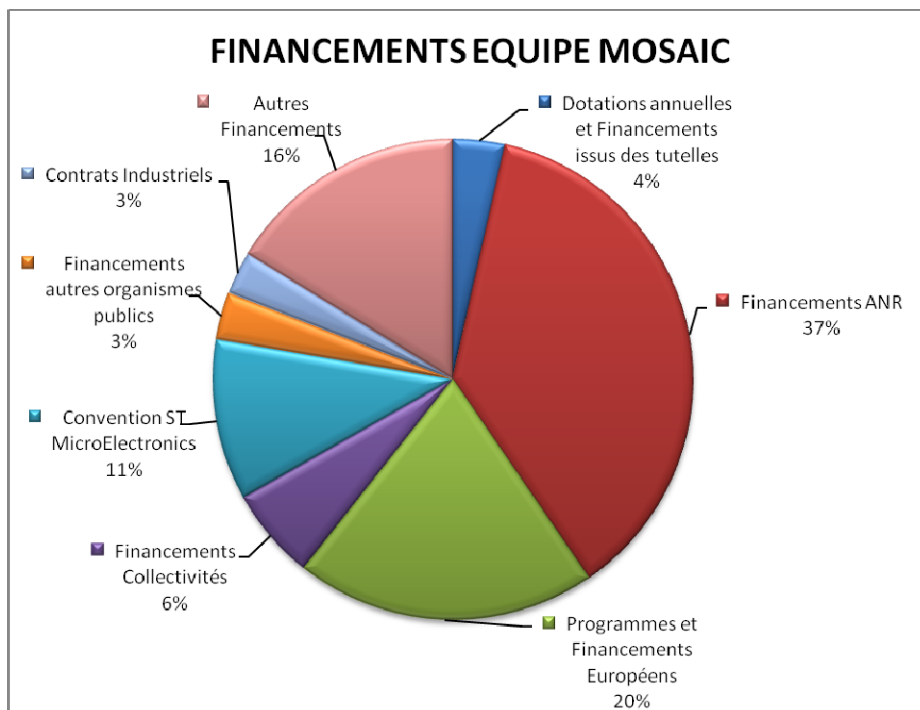
■ PUBLICATIONS

En bref :

ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	73
ASCL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales sans comité de lecture</i>)....	2
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>).....	49
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	9
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	122
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>).....	4

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE MOSAIC	
Dotations annuelles et Financements issus des tutelles	119 004.47 €
Financements ANR	1 251 741.73 €
Programmes et Financements Européens	687 346.36 €
Financements Collectivités	209 274.18 €
Convention ST MicroElectronics	367 172.00 €
Financements autres organismes publics	107 640.00 €
Contrats Industriels	98 282.50 €
Autres Financements	551 183.99 €
TOTAL	3 391 645.23 €



Bilan financier détaillé de l'équipe MOSAIC

Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Organisme gestionnaire	
2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		5 032.61 €	UPCAM	
2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	9 785.80 €	11 703.82 €	CNRS	
2006	RIGNEAULT Hervé	financement des frais de transport pour la participation au 1st symposium JFFoS (fin janvier 2007)	CNRS	23/11/2006	31/01/2007	1 200.00 €	1 435.20 €	CNRS	
2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		2 104.60 €	UP	
2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		8 820.00 €	UPCAM	
2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	8 820.00 €	10 548.72 €	CNRS	
2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	8 610.10 €	10 297.68 €	CNRS	
2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		1 070.67 €	UP	
2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	7 380.09 €	8 826.59 €	CNRS	
2009	WENGER Jérôme	COLLABORATION USA DRI	CNRS	01/04/2009	31/12/2009	6 000.00 €	7 176.00 €	CNRS	
2009	BRASSELET Sophie	Colloques scientifiques : NanoBiophotonics Workshops-France/Etats-Unis Octobre 2009	CNRS	18/05/2009	31/12/2009	10 000.00 €	11 960.00 €	CNRS	
2009	WENGER Jérôme	PEPS NANOCOAX	CNRS	24/06/2009	31/12/2009	5 000.00 €	5 980.00 €	CNRS	
2009	RIGNEAULT Hervé	Transfert de crédits pour missions en Israël dans le cadre d'une collaboration LEA	LEA	30/06/2009	31/12/2009	10 650.00 €	12 737.40 €	CNRS	
2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		5 308.56 €	ECM	
2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	7 380.12 €	8 826.62 €	CNRS	
2010	WENGER Jérôme	COLLABORATION USA DRI	CNRS	23/04/2010	31/12/2010	6 000.00 €	7 176.00 €	CNRS	
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES							119 004.47 €		
Financements ANR	2005	LENNE Pierre-François	DrosActInCut : Probing the mechanical properties of cells in vivo : dynamics and contractility of the acto-myosin network in Drosophila epithelial cells	ANR	12/12/2005	05/12/2008	98 000.00 €	117 208.00 €	CNRS
	2006	RIGNEAULT Hervé	Confinement et Exaltation électromagnétique pour biopuce	ANR	01/03/2006	30/11/2008	299 520.00 €	358 225.92 €	CNRS
	2006	RIGNEAULT Hervé	MnemoSig : Functional memory of the plasma membrane : regulating cell activation thresholds	ANR	06/12/2005	05/12/2008	96 600.00 €	115 533.36 €	CNRS
	2007	BRASSELET Sophie	Phase and polarization pulse shaping for nonlinear microscopy	ANR	08/11/2007	07/04/2011	150 000.00 €	179 400.00 €	CNRS
	2007	RIGNEAULT Hervé	Sources optiques fibrées pour la microscopie CARS	ANR	10/04/2008	09/04/2011	289 016.00 €	345 663.14 €	CNRS
	2007	WENGER Jérôme	Arrangement of Nanotunable Amplified Reproducible Spotlight	ANR	26/11/2007	25/11/2010	113 471.00 €	135 711.32 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR							1 251 741.73 €		
Programmes et financements européens	2004	RIGNEAULT Hervé	Réseaux d'excellence européen Nano to Life	Commission européenne	12/03/2004	31/01/2008	1 138.31 €	1 361.42 €	CNRS
	2008	RIGNEAULT Hervé	Innovative contrast imaging by non linear optics for the observation of biological tissues invivo and in real time at cellular and molecular levels	Commission européenne	03/03/2008	28/02/2011	573 566.00 €	685 984.94 €	CNRS
TOTAL TTC PROGRAMMES ET FINANCEMENTS EUROPEENS							687 346.36 €		
Financements collectivités	2006	RIGNEAULT Hervé	Contrôle spatio-temporels de faisceaux laser pour le microscopie fonctionnelle : application à l'analyse des processus dynamiques en milieu biologique complexe	CONSEIL REGIONAL PACA	29/11/2005	28/11/2007	38 756.00 €	46 352.18 €	CNRS
	2007	LENNE Pierre-François	DrosActInCut : Nanodissection laser in vivo pour l'étude de la mécanique des interfaces cellulaires	CONSEIL REGIONAL PACA	23/06/2007	22/06/2012	128 398.51 €	153 550.00 €	CNRS
	2008	RIGNEAULT Hervé	convention cadre relative à la réalisation du programme de Recherche et Développement intitulé "Rousset 2003-2008 de la société STMicroelectronics	CONSEIL GENERAL BDR	23/04/2008	30/03/2009	307 000.00 €	367 172.00 €	UPCAM
	2008	BRASSELET Sophie	Colloques scientifiques : NanoBiophotonics Workshops-France/Etats-Unis Octobre 2009	CONSEIL REGIONAL PACA	06/05/2008	31/12/2009	3 000.00 €	3 588.00 €	CNRS
	2009	BRASSELET Sophie	Colloques scientifiques : NanoBiophotonics Workshops-France/Etats-Unis Octobre 2009	CONSEIL REGIONAL PACA	17/04/2009	31/12/2009	4 000.00 €	4 784.00 €	CNRS
	2009	BRASSELET Sophie	Colloques scientifiques : NanoBiophotonics Workshops-France/Etats-Unis Octobre 2009	Ville de MARSEILLE	29/06/2009	31/12/2009	836.12 €	1 000.00 €	UP
TOTAL TTC FINANCEMENTS COLLECTIVITES							576 446.18 €		

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Organisme gestionnaire
Financements autres organismes publics	2008	RIGNEAULT Hervé	Projets libre : "Rôle of spingolipid/cholesterol dependant membrane domains in regulating Fas-mediated cell death and Akt-Medlated cell survival/proliferation signalling pathways in the B-chronic Lymphocitic Leukemia".	INCA	08/04/2008	31/12/2010	90 000.00 €	107 640.00 €	CNRS
	TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								107 640.00 €
Contrats industriels	2006	RIGNEAULT Hervé	Réalisation de travaux de mesures de microscopie CARS dans des échantillons de peau humaine artificielle et naturelle fournis par L'OREAL	L'OREAL	01/09/2006	31/12/2006	25 000.00 €	29 900.00 €	CNRS
	2007	RIGNEAULT Hervé	Réalisation de travaux de mesures de microscopie CARS dans des échantillons de peau humaine artificielle et naturelle fournis par L'OREAL	L'OREAL	01/01/2007	31/12/2007	50 000.00 €	59 800.00 €	CNRS
	2009	MONNERET Serge	Système d'analyse de la phase d'ondes lumineuses	PHASICS	10/02/2009	31/12/2010	7 176.00 €	8 582.50 €	CNRS
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								98 282.50 €	
Autres financements	2006	LENNE Pierre-François	Participation pôle de compétitivité Photoniques : DrosActInCut : Probing the mechanical properties of cells in vivo : dynamics and contractility of the acto-myosin network in Drosophila epithelial cells	POLE DE COMPETITIVITE PHOTONIQUES	17/02/2006	05/12/2008	8 400.00 €	10 046.40 €	CNRS
	2006	RIGNEAULT Hervé	Participation pôle de compétitivité : Confinement et Exaltation électromagnétique pour biopuce	POLE DE COMPETITIVITE	18/05/2006	30/11/2008	12 000.00 €	14 352.00 €	CNRS
	2006	RIGNEAULT Hervé	Participation pôle de compétitivité : MmemoSig : Functional memory of the plasma membrane : regulating cell activation thresholds	POLE DE COMPETITIVITE PHOTONIQUES	16/02/2006	05/12/2008	12 000.00 €	14 352.00 €	CNRS
	2007	RIGNEAULT Hervé	microscopy CARS	UNIV OF SYDNEY	20/11/2007	31/12/2008	4 600.00 €	5 501.60 €	CNRS
	2008	LENNE Pierre-François	HFSP Grants allowance	HFSP	10/10/2008	31/12/2009	213 609.86 €	255 477.39 €	CNRS
	2009	MONNERET Serge	projet QUITO	OPTITEC	07/12/2009	30/09/2012	190 246.32 €	227 534.60 €	CNRS
	2009	WENGER Jérôme	AAP 09 CNANO PACA	CNANO PACA	22/06/2009	31/12/2009	20 000.00 €	23 920.00 €	CNRS
TOTAL TTC AUTRES FINANCEMENTS								551 183.99 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE MOSAIC								3 293 362.72 €	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

- Centre d'Immunologie de Marseille Luminy (CIML)
- Institut de Biologie de Développement de Marseille Luminy (IBDML)
- LPQM Cachan
- ISIS Strasbourg
- ENS Lyon
- ENSCP Bordeaux
- UTT Troyes
- ICB Dijon
- FemtoST Besançon
- LTM Grenoble
- Universités Paris VI et Paris VII
- LPN Marcoussis
- Laboratoire de Chimie de Provence (LCP) Marseille
- LP3 Marseille

■ INTERNATIONALES

- Weizmann Institut of Sciences - Israel
- Univ Stuttgart - Allemagne
- Univ Bath - Royaume Uni
- Univ Seoul - Corée
- Univ Salt Lake City Utah - USA

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

Conférences Nationales organisées par Mosaic :

- Ecole prédoctorale "Interactions Lumière Matière : du nanomètre au millimètre" au Centre de Physique des Houches, 31 Aout - 11 Septembre 2009 (S. Brasselet)
- Journées "Polarisation" (2-3 juin 2009) (S. Brasselet)
- Journées des GDR 2588 (Microscopie fonctionnelle du vivant) et GDR 2551 (Ondes) à Marseille en 2007, 2008 et 2009. (S. Brasselet, C. Favard, S. Monneret, H. Rigneault)

Conférences Internationales organisées par Mosaic :

- "Porquerolles Summer School on Plasmonics" en collaboration avec CLARTE, 13-17 Sept 2009 - (J. Wenger)
- "International Japanese American French Workshop on nanobiophotonics" 26-29 octobre 2009 Marseille France - (S. Brasselet, H. Rigneault)
- "12th Carl Zeiss sponsored workshop on FCS and related methods" 12-16 octobre 2009 - J. Wenger, P. Ferrand, C. Favard, H. Rigneault
- IESC Cargèse France, "MicroCARS : Raman and CARS microscopy", IESC Cargèse France, 5-11 oct 2009 - (H. Rigneault)

■ **PRIX ET DISTINCTIONS**

OSEO Emerges 2009- Michael Maurin (PostDoc) -Federico Belloni(PostDoc) - Projet PixinBio

■ **MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX**

Observatoire des Micro et Nano Technologies (OMNT) (2007-2010) (J. Wenger, S. Brasselet)

■ **ACTIVITES DE CONSULTANCE**

S. Monneret, entreprise KASIOS.

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

ANR

- PNANO - Membre du comité d'évaluation - H. Rigneault (2006 à 2009)
- Blanc Nanosciences - Vice Président du jury - H. Rigneault (2010)
- Expertise de projets : Tous les membres de l'équipe

AERES

- Membres de comités d'évaluation : S. Brasselet, S. Monneret, H. Rigneault

Comité national

- Membre élu : S. Monneret, section 08 (2009-2012)

Conseil National des Universités

- Membre nommé : S. Brasselet, 30e section (08-10)

GDR Ondes 2551

- Animateur Scientifique GT2 - Cristaux Photoniques, Microcavités et Matériaux Complexes - H. Rigneault (2006-2008)
- Animateur Scientifique GT7 - Ondes et imagerie en milieux complexes et biologiques - S. Brasselet (2009-2010)

GDR 2588 Microscopie Fonctionnelle du Vivant

- Membres du comité scientifique - C. Favard, P.F. Lenne, S. Monneret (2007-2014)
- Bureau Scientifique - C. Favard (2008-2010).
- Animation d'ateliers thématiques (Tek'Co) : C. Favard
- Organisation de l'école MIFOBIO : C. Favard, S. Monneret (2006, 2008 et 2010)

Réseau technologique de microscopie (RTMFM) du CNRS/MRCT

- Membre du comité de pilotage : S. Monneret (depuis 2004)

INSERM

- Animateur d'ateliers scientifiques : "Techniques d'études dynamiques par microscopie : FRAP et FCS, applications à la biologie" : C. Favard, P. Ferrand (2009)

Fêtes de la Science

- Animateur scientifique : J. Wenger (2008-2010)

C'Nano Ile de France

- Membre du Conseil Scientifique - H. Rigneault (2007 à 2010)

EOS Advanced Imaging

- Membre du Conseil Scientifique - H. Rigneault (2009, 2010)

Symposium Franco-Israélien sur l'Optique Non linéaire et Quantique (FRISNO)

- Membre du Conseil Scientifique - H. Rigneault (2006- 2010)

Université Paul Cézanne Aix-Marseille III

- Membre élu du Conseil Scientifique - P. Ferrand (2008-2011)
- Membre du Conseil de département Sciences de la Matière - P. Ferrand (2004-2007), S. Brasselet (2008-2011)

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

- **PIERRE-FRANÇOIS LENNE** : Février 2007 : "*Etude physique de quelques problèmes de biologie : de la molécule individuelle à la cellule vivante*"

THESES

- **EN COURS**

9 doctorants en cours de thèse dans l'équipe.

- **SOUTENUES**

3 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

Dora AIT-BELKACEM (2008-2011) - Université Paris VI - Algérie
Heykel AOUBANI (2008-2011) - Université Paul Cézanne Aix-Marseille - France
Pascal BERTO (2009-2012) - Ecole Supérieure d'Optique - France
Pierre BON (2008-2011) - Ecole Supérieure d'Optique - France
Alicja GASECKA (2007-2010) - Université Wroclaw - Pologne
Jules GIRARD (2008-2011) - ENSEEIHT Toulouse - France
Alla KRESS (2008-2011) - Université Bochum - Allemagne
Peter SCHOEN (2007-2010) - Université Dresden - Allemagne
Fabiana MUNHOZ (2007-2010) - Ecole Polytechnique Palaiseau - Brésil

Federico BELLONI (2007) – Politecnico de Milan - Italie

David GACHET (2008) - Ecole Supérieure d'Optique - France

Matteo RAUZI (2009) – Politecnico de Milan - Italie

■ DEVENIR DES DOCTORANTS

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
D. GACHET	MCF	Université de la Méditerranée - France
M. RAUZI	Post-doc	EMBL Heidelberg – Allemagne
M. PIANTA	Ingénieur	Entreprise d'énergie renouvelable - Bruxelles
N. DJAKER	MCF	Université de Paris XIII - France

AUTOEVALUATION DE MOSAIC

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne (organisationnelle)	<p style="text-align: center;">Strengths (Forces)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonctionnement de l'équipe résolument collectif, s'appuyant sur les profils variés et les expertises complémentaires de ses chercheurs ▪ Politique de recrutement très ouverte ▪ Collaborations établies avec des laboratoires de biologie et chimie ▪ Notoriété nationale et internationale ▪ Parc instrumental à l'état de l'art 		<p style="text-align: center;">Weaknesses (Faiblesses)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Certaines des innovations photoniques que nous avons développées manquent encore d'application avérée dans le domaine des sciences du vivant ▪ L'équipe manque de chercheurs habilités à diriger des recherches ▪ L'équipe souffre de l'éloignement géographique de ses collaborateurs biologistes
Origine Externe (environnement)	<p style="text-align: center;">Opportunities (Opportunités)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grâce à sa notoriété, l'équipe est régulièrement sollicitée pour établir de nouvelles collaborations académiques et industrielles, ▪ Pouvoir d'attraction de bons étudiants ▪ L'équipe est fortement impliquée dans la mise en place du programme Erasmus Mundus (Master et Doctorate) 		<p style="text-align: center;">Threats (Menaces)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Notre important parc de LASERS de haute technologie (plusieurs systèmes à l'état de l'art) nécessite un entretien continu qui justifierait le recrutement d'un ingénieur de recherche pour en assurer le bon fonctionnement.

PROJET MOSAIC

Les perspectives pour l'équipe MOSAIC pour le prochain quadriennal s'articulent autour de ses expertises fortes. Après la période de démarrage 2002-2006, nous venons de traverser la période d'ancrage 2006-2010 où notre production scientifique a atteint un rythme satisfaisant. L'objectif pour le nouveau quadriennal est de nous placer dans l'excellence scientifique qui, nous le savons, sera difficile à conquérir, en particulier au niveau des revues les plus prestigieuses. Cet objectif ne pourra être atteint que si nous concilions "l'Idée", "la Mise en Œuvre", "la présentation" et "la valorisation". Il y a certainement à gagner sur chacun de ces aspects par (1) un recrutement d'excellence, (2) une gestion optimale des compétences de chacun, (3) le maintien à l'état de l'art de notre parc de matériel, (4) un volontarisme affiché pour percer les meilleurs revues et (5) une connaissance approfondie du champ applicatif.

Pour ces différentes raisons MOSAIC va se concentrer sur 4 chantiers scientifiques qui devront être le terrain privilégié de son épanouissement.

LES CHANTIERS SCIENTIFIQUES

■ **THEME 1 : POLARISATION ET IMAGERIE**

L'utilisation de la polarisation de la lumière doit apporter une dimension "orientationnelle" à la microscopie, en apportant des contrastes sensibles à l'ordre moléculaire. Nous menons déjà plusieurs actions scientifiques sur cette thématique mais nous chercherons à étendre ce champ de connaissance et d'expertise pour proposer, à terme, des microscopes capables de "voir" l'ordre moléculaire.

De façon intéressante, les différents contrastes linéaires et non-linéaires sont complémentaires lorsqu'on cherche à lire un ordre moléculaire, depuis l'ordre le plus bas (processus à un photon) jusqu'à des ordres plus élevés (processus multiphotoniques). Le cas des résonances électroniques ou vibrationnelles reste un champ à explorer où la non-symétrie des tenseurs complexifie l'analyse.

Ce ne sont pas seulement les édifices moléculaires statiques qui peuvent ainsi être sondés mais également l'ordre dynamique de structures, en particulier en utilisant la FCS polarisée.

L'utilisation de faisceaux focalisés, et/ou d'état de polarisation non conventionnel (radiale par exemple), devrait permettre d'obtenir des informations sur l'ordre longitudinal (suivant z). Enfin, l'analyse polarimétrique pourra être étendue spectralement pour venir sonder un spectre électronique ou vibrationnel (Raman, CARS, SRS).

■ **THEME 2 : MESURE DE LA PHASE EN MICROSCOPIE**

Les nouveaux outils que sont les modulateurs/analyseurs de front d'onde nous permettent (1) de façonner la phase spatiale et (2) de mesurer cette phase lumineuse. La mise en œuvre des pinces optiques holographiques et plus récemment de l'ultra-résolution optique assistée par réseaux de diffraction sont de bons exemples de façonnage.

Notre objectif est maintenant d'explorer les potentialités apportées par la mesure de la phase spatiale. Cette information, obtenue traditionnellement dans le plan de Fourier, nous semble aussi particulièrement intéressante lorsqu'on l'extrait de façon plus originale dans le plan objet, avec des applications prometteuses en imagerie quantitative et tomographie de phase optique. Nous explorons également ce type de mesure de phase dans la génération des images non linéaires pour rapporter des contrastes spécifiques aux résonances électroniques et vibrationnelles.

En somme, le but de ce champ de recherche est encore de proposer, à terme, des microscopes capables de "voir" la phase des objets et ceci dans les différents mécanismes de contraste adressés, y compris non linéaires.

■ **THEME 3 : NANOPHOTONIQUE ET APPLICATIONS EN BIOLOGIE**

Les moyens technologiques actuels permettent une ingénierie de structures nanométriques interagissant fortement avec les champs optiques. Micro et nanocavités, nano-antennes, guides et résonateurs plasmoniques ne supportant pas de coupure sont des objets capables de confiner les champs optiques sur des échelles bien inférieures à la longueur d'onde. Il est passionnant d'explorer comment ces résonances localisées peuvent être utilisées pour exalter les interactions molécule/lumière et ainsi réaliser une spectroscopie moléculaire à l'échelle de quelques molécules. Les applications concernent alors l'ultra-résolution optique mais également les bio-puces à forte intégration spatiale. Est également concerné le développement de sondes plasmoniques (nanoparticules) dont l'interaction lumière matière serait optimisée.

Le couplage entre structure plasmonique est, nous le savons, une des clefs pour optimiser les résonances électromagnétiques; comment adresser de manière optimale de telles structures reste un champ à explorer. Il est aussi spectaculaire de constater que les multiples degrés de liberté du champ électromagnétique dans les structures plasmoniques complexes permettent un adressage spatial, contrôlable à une échelle sub-longueur d'onde, de la lumière par adaptation du profil spatio-temporel des champs incidents.

Par ailleurs, les techniques d'ultra-résolution spatiale utilisant la saturation de fluorescence ou les états noirs moléculaires (PALM/STORM) doivent nous permettre de sonder spatialement les champs confinés par les nanostructures optiques.

■ **THEME 4 : MISE EN FORME SPATIALE ET TEMPORELLE POUR L'IMAGERIE ET LA SPECTROSCOPIE**

Les modulateurs spatiaux de lumière, les façonneurs d'impulsion sont capables de moduler le champ électromagnétique dans le temps et l'espace. Il y a fort à parier que combiner ces deux dimensions permettra d'une part d'accéder à une information spectroscopique locale des systèmes moléculaires biologiques et de leur dynamique, et d'autre part de surpasser les limites de la microscopie optique conventionnelle. Le but ici est de décliner une imagerie spectroscopique des assemblages moléculaires en adaptant les distributions spatio-temporelles des champs d'excitation et de lecture au contraste envisagé. De façon plus profonde il s'agit de travailler à la lecture d'un système moléculaire non linéaire par l'utilisation spatio-temporelle optimale de champs optiques focalisés. L'élimination de la diffusion, toujours gênante dans les tissus, peut également être abordée sous cet angle en jouant sur le retournement temporel par exemple.

LES SUJETS BIOLOGIQUES

Même si nous évoquons ici les axes biologiques sous l'angle du physicien, il est entendu que nous continuerons d'appliquer nos méthodes et outils sur les objets d'étude que sont les membranes, tissus, ADN et protéines individuelles, sous la surveillance de nos partenaires biologistes comme nous l'avons fait jusque là. Ces objets fournissent le substrat idéal pour affiner nos méthodes et techniques, avec une valorisation facilitée par les conseils pertinents apportés par nos collègues des sciences de la vie au niveau du choix des applications. Au final, les objets biologiques précités posent individuellement des problèmes biologiques d'intérêt, que nous tentons d'explorer de façon originale avec nos outils optiques.

Parmi ces thématiques biologiques, nous pensons nous concentrer sur :

■ **THEME 1 : L'ORDRE MOLECULAIRE DANS LES MEMBRANES BIOLOGIQUES**

Les lois de diffusion FCS et l'analyse polarimétrique n'ont été pour l'instant utilisées que sur des systèmes cellulaires au repos. Nous souhaitons maintenant regarder les phases d'activation, c'est-à-dire lorsqu'une cascade de signalisation est stimulée. Nous avons commencé des travaux sur le récepteur à l'EGF en collaboration avec le CIML où la stimulation s'opère grâce aux pinces optiques holographiques. Il s'agit d'un système de référence bien étudié qui doit nous permettre de croiser aisément nos conclusions avec les analyses biochimiques. Par ailleurs nous travaillons depuis peu sur le récepteur MHC et son complémentaire TCR, qui tendent à former des agrégats ordonnés sur la membrane cellulaire dont la nature est encore peu connue. L'étude fine d'une interaction contrôlée entre MHC et TCR est un but que nous tentons d'approcher avec nos collègues biologistes. Plusieurs propositions ANR ont été faites en 2010 sur cette thématique.

■ **THEME 2 : LA MECANIQUE CELLULAIRE DANS L'EMBRYON DE DROSOPHILE: DIFFUSION ET ORDRE MOLECULAIRE**

La présence de forces anisotropes est à l'origine de l'évolution du développement des organismes. Dans le modèle de la drosophile, l'évolution de l'embryon se prête bien aux études de FCS et d'analyse polarimétrique. En collaboration avec nos collègues de l'IBDML (en particulier Pierre-François Lenne qui a récemment quitté Mosaic), nous nous proposons d'étudier les liens entre les réseaux générateurs de forces (réseau d'acto-myosine) et les molécules d'adhésion (cadhérine).

■ **THEME 3 : ORDRE ET DYNAMIQUE DES MONOMERES AU SEIN DE FILAMENTS ET PENDANT L'INTERACTION DU FILAMENT AVEC UNE MOLECULE D'ADN**

La recombinaison homologue est un processus universel de la vie, essentiel au maintien de l'intégrité génomique, à la survie cellulaire et à la protection contre la tumorigenèse. La duplication fidèle du génome, la ségrégation des chromosomes et la réparation des cassures double brin de l'ADN dépendent de la capacité des cellules à effectuer des réactions d'échanges de brin d'ADN entre molécules d'ADN homologues. En collaboration avec le Laboratoire des Instabilités du Génome et Cancérogénèse (IGC - Marseille, Mauro Modesti) nous nous proposons d'utiliser la polarimétrie pour mieux appréhender l'ordre dans la recombinaison homologue. Un sujet ANR a été déposé sur cette thématique en 2010.

■ **THEME 4 : ARCHITECTURE DES TISSUS TUMORAUX ET SIGNATURE MOLECULAIRE**

Il s'agit d'un champ applicatif que nous avons déjà abordé dans le cadre du projet Européen CARSExplorer où nous visons à utiliser les contrastes non linéaires (TPEF, SHG, CARS) pour identifier de façon précoce les tumeurs cancéreuses de la peau (en particulier au niveau des signatures vibrationnelles des cellules et de la déstructuration du collagène de la matrice extracellulaire). De façon plus générale nous venons d'engager des actions avec le Cancéropôle PACA pour évaluer nos outils sur des échantillons humains malins. Le but étant, à terme, de faire rentrer nos outils de diagnostic optique à l'hôpital.

■ **THEME 5 : LE BIOTEST A L'ECHELLE DE QUELQUES MOLECULES**

Optimiser les interactions lumière-matière à l'aide de structures photoniques de dimensions nanométriques est une ambition à long terme de l'équipe. Les structures du type nano-ouvertures ou microbilles peuvent répondre de façon élégante à certains tests biologiques. L'utilisation de la signature Raman est également au cœur de nos préoccupations, qu'elle soit spontanée ou stimulée. Nous avons initié quelques travaux sur la détection d'hybridation de brins d'ADN et nous pensons développer ces approches avec des collègues chimistes.

BILAN SCIENTIFIQUE PHYTI

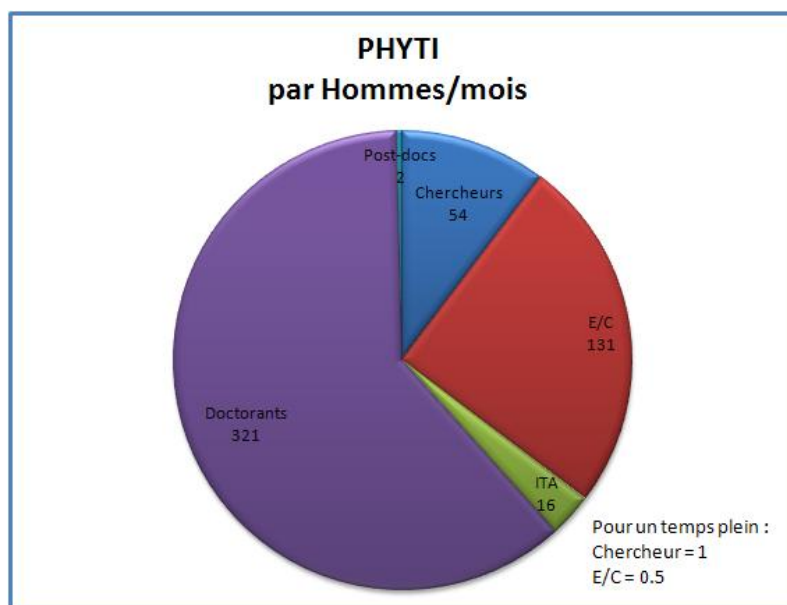
Responsable d'équipe : Nicolas BERTAUX

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
ALLAIN Marc	MCF	UPCAM
BERTAUX Nicolas	MCF	ECM
GALLAND Frédéric	CR	CNRS
REFREGIER Philippe	PR	ECM
ROCHE Muriel	MCF	ECM
ROUEFF Antoine	MCF	ECM (<i>arrivée : 01.09.06</i>)

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
AIT-BELKACEM Dora	Doctorante (70% MOSAIC)	2011
ALLAIS Anne-Gaëlle	Doctorante	2011
ARNAUBEC Aurélien	Doctorant	2012
JAEGLER Arnaud	Doctorant	2010
VASQUEZ Emilie	Doctorante	2010
BOFFETY Matthieu	Post-doctorant	
REGNE Sébastien	CDD Informatique	



54 Homme/mois ETP de chercheurs + 131 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 15,4 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 3,4 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

Les travaux de notre équipe peuvent être présentés suivant quatre thèmes :

- 1 : Cohérence et polarisation,
- 2 : Estimation en imagerie bruitée,
- 3 : Détection et poursuite dans des images bruitées,
- 4 : Segmentation des images bruitées.

Ce découpage, s'il permet d'appréhender notre activité de manière assez précise, reste en partie arbitraire puisque l'interpénétration entre ces thèmes est importante. On notera notamment que le traitement et l'analyse des images bruitées sont des problématiques transverses aux thèmes 2, 3 et 4. Elles sont également à la source de nombreux travaux plus fondamentaux sur le thème 1. Sur le plan méthodologique, un point commun à l'ensemble des thèmes est la mise en œuvre d'outils statistiques et issus de la théorie de l'information pour l'analyse et le traitement d'images bruitées. Ces outils concernent en particulier les propriétés d'invariance, les mesures d'information (Fisher, Shannon, Kullback, Chernoff, etc.) ainsi que la mesure de complexité stochastique (aussi connue sous le nom de MDL).

Enfin, une dernière caractéristique de notre activité qu'il convient d'évoquer est la recherche de solutions rapides et robustes. Cet aspect est plus lié au caractère d'ingénierie de certaines de nos études. Il est important non seulement pour nos collaborations industrielles, mais aussi pour le placement des doctorants qui ont en grande majorité trouvés un emploi avant leur soutenance (à l'exception d'un doctorant élève normalien recruté sur un poste de Maître de Conférences avec une chaire d'excellence au 09/2010 à la suite d'un post doctorat à l'Onéra). La durée moyenne des thèses de nos doctorants est de 3 ans et 2 mois.

Les domaines d'applications que nous avons abordés sont relatifs à l'imagerie radar (SAR, radar doppler-distance, PolInSAR), ultrasonore, optronique (IR) et optique. En particulier nous avons travaillé pour l'imagerie par microscopie dans des applications en biologie, pour la tomographie optique de fluorescence, pour l'imagerie vidéo, pour l'imagerie polarimétrique optique ou perturbée par des fluctuations quantiques non standard. Nous avons également développé une activité dans le domaine de l'imagerie optique sous-marine.

Les collaborations avec les équipes de l'institut Fresnel ont été plus soutenues que par le passé en particulier avec les équipes SEMO et MOSAIC.

Parmi les résultats les plus significatifs de ce quadriennal nous pouvons citer le développement d'une technique d'analyse d'image pour la biologie publiée dans "Nature Methods", le développement de techniques de traitement d'images polarimétriques interférométriques radar, l'obtention de résultats sur l'irréversibilité en cohérence optique.

RESULTATS MARQUANTS

■ **THEME 1 : COHERENCE ET POLARISATION**

Permanents participant : Ph. Réfrégier, M. Roche, A. Roueff

L'analyse de la polarisation de la lumière a été approfondie durant ce quadriennal à l'aide des concepts issus de la théorie de l'information [345] et des propriétés d'invariance [346]. Ces études ont permis de développer des outils théoriques de caractérisation de la polarisation en présence de fluctuations non gaussiennes ou en dimension trois, ce qui peut présenter un intérêt pour les analyses en champs proches.

Les travaux sur la cohérence en présence de lumière partiellement polarisée ont également été poursuivis. Nous avons tout d'abord étudié les conséquences, sur des expériences d'interférences, de l'approche qui résulte des degrés intrinsèques que nous avons introduite en 2005. Une analyse a été conduite dans le cas où la lumière observée est la somme d'une lumière cohérente au sens de Glauber à l'ordre un (c'est-à-dire qui satisfait une relation de factorisation) et d'une lumière totalement polarisée mais partiellement cohérente [344]. Il a également été montré [342] que la cohérence au sens de Wolf est une condition plus restrictive que la cohérence au sens des degrés intrinsèques (c'est-à-dire quand les deux degrés intrinsèques sont égaux à 1). Cette dernière condition (au sens des degrés intrinsèques) est d'ailleurs nécessaire et suffisante pour pouvoir obtenir des franges d'interférence de visibilité 1 en présence de lumière partiellement polarisée. La poursuite de ces travaux a permis de montrer que si les degrés intrinsèques sont égaux à 1 dans une région de l'espace, alors la lumière partiellement polarisée peut être écrite comme la somme de deux lumières d'états de polarisation différents et qui satisfont chacune la condition de factorisation de Glauber à l'ordre un [364]. Ce type de lumière cohérente peut inclure différentes notions de cohérence analysées jusqu'à présent. Nous avons également étudié l'état de polarisation qui optimise la visibilité des franges d'interférence quand on ne peut agir que sur un des deux faisceaux. Il a pu être montré que le degré

de polarisation optimal est simplement relié aux degrés intrinsèques qui permettent ainsi d'obtenir une analyse simple du problème [353]. Ces études ont été complétées par l'analyse du cas où le champ électromagnétique est la somme de deux lumières totalement polarisées mais avec des états de polarisation différents [367]. Ces travaux ont également été appliqués à des ondes sismiques partiellement polarisées [375] qui correspondent à des mesures sur la côte ouest des USA.

Des études plus fondamentales sur la caractérisation du désordre par l'entropie [343], de comportements non ergodiques [366] et de propriétés de symétrie ont également été entreprises [352]. Elles ont permis de mieux appréhender les notions d'irréversibilité sur les propriétés de cohérence en présence de lumière partiellement polarisée. En particulier, seul le plus grand des deux degrés intrinsèques possède la propriété de ne pas pouvoir croître quand la lumière traverse un milieu décrit par une matrice de Jones aléatoire [365]. Les autres définitions de degrés de cohérence (introduits par J. Tervo et al., A. Luis, G. Gori et al., etc.) ne possèdent cette propriété que si les milieux aléatoires sont transparents (c'est-à-dire s'ils possèdent des matrices de Jones aléatoires unitaires) [363]. Enfin dans le cadre d'une collaboration avec J. Tervo, T. Setälä et A. Friberg, les conséquences des propriétés de symétries ont été analysées et ont permis d'exhiber une anisotropie qui pourrait être observable expérimentalement [374], ainsi que d'approfondir l'interprétation de ces propriétés à l'aide du vecteur de Stokes généralisé [376] et d'analyser l'influence des propriétés de symétries sur les valeurs des coordonnées de ce vecteur [368].

■ **THEME 2 : ESTIMATION EN IMAGERIE BRUITÉE**

Permanents participant : M. Allain, N. Bertaux, Ph. Réfrégier, M. Roche, A. Roueff.

Le nombre de mesures nécessaires pour estimer le degré de polarisation dans les images est normalement supérieur ou égal à quatre. Nous avons analysé dans quelles conditions, et avec quelle précision, ce paramètre pouvait être malgré tout estimé avec moins que quatre mesures. Cette étude a tout d'abord été conduite pour les systèmes d'imagerie qui ne mesurent que deux images de contrastes orthogonaux [355], à l'aide d'estimateurs plus performants que celui des moments [370], en présence d'inhomogénéités spatiales [339] ou en présence de lumière à faible flux dans le cas particulier de matériaux purement dépolarisants [341].

Cette étude a été étendue au cas où une seule image d'intensité est mesurée en présence de speckle pleinement développé [354]. Le principe repose sur l'analyse des fluctuations de l'intensité qui dépendent du degré de polarisation. Les estimateurs fondés sur les moments statistiques [360] ont été caractérisés dans le cas où le speckle n'est pas nécessairement pleinement développé et en présence de bruit de photons [359].

Dans le cadre d'une collaboration avec N. Treps et C. Fabre du LKB, nous avons étudié l'apport de fluctuations sous poissoniennes pour des tâches de traitement d'images. Nous nous sommes tout d'abord intéressés à la précision optimale de l'estimation d'une translation inconnue d'une image [357] dans le cas de petits déplacements. Nous avons ensuite étendu cette étude au cas de grands déplacements [358] ce qui nous a également permis d'exhiber un "cross-over" en

fonction de l'intensité du faisceau entre un comportement sous poissonien et un comportement standard limité par un bruit de Poisson. Ces études reposaient sur l'analyse de la borne de Cramer-Rao. L'étude de la détection nécessite d'analyser d'autres mesures que l'information de Fisher sur laquelle repose la borne de Cramer-Rao. Nous avons donc étendu des travaux antérieurs sur la mesure de Bhattacharyya à la mesure de Chernov pour des problèmes de détection en présence de bruits sous poissonien [371]. Ces travaux ont permis de généraliser des résultats obtenus par M. Teich et B. Saleh en précisant les domaines où il existe un gain sensible à utiliser des bruits sous-poissonien pour la discrimination entre deux niveaux d'intensité.

L'analyse de la précision optimale à l'aide de la borne de Cramér-Rao a également été appliquée, en collaboration avec l'équipe SEMO, pour l'étude de la résolution des images en présence de diffusion multiple [45]. Enfin, ces notions ont également été appliquées pour analyser la résolution en profondeur en imagerie optique de luminescence en présence de diffusion [46].

■ **THEME 3 : DETECTION ET POURSUITE DANS DES IMAGES BRUTEES**

Permanents participant : N. Bertaux, F. Galland, Ph. Réfrégier

La détection de cibles ponctuelles dans des fonds non homogènes est un enjeu important pour de nombreuses applications. Il est cependant difficile dans ces configurations de garantir la probabilité de fausses alarmes (Pfa) réelle des détecteurs. Dans ce cadre, nous avons réalisé plusieurs travaux dont les enjeux étaient de proposer des détecteurs permettant de garantir une Pfa tout en s'efforçant de maximiser la probabilité de détection (Pd).

Nous nous sommes tout d'abord intéressés à la détection de cibles dans des cartes distance-vitesse radar, qui présentent un bruit multiplicatif de type Gamma. Nous avons proposé une technique simple [361] et rapide fondée sur une modélisation du fond dans une fenêtre glissante à l'aide d'une fonction quadratique des coordonnées des pixels. Cette technique a ensuite été améliorée afin de définir des formes de fenêtre adaptées aux variations locales des niveaux de gris de l'image [377]. Nous avons également travaillé sur la classification de signaux radar où nous avons développé une technique de discrimination qui repose sur une approche de filtrage usuellement utilisée pour la détection [349].

Dans le domaine de l'optronique nous avons conduit une première étude sur des images hyperspectrales [338] pour la détection d'anomalie quand les signatures spectrales des cibles sont inconnues. Nous avons également abordé le problème de la détection de cibles ponctuelles dans des images infrarouges. Nous nous sommes tout d'abord concentrés sur l'amélioration des performances dans le ciel et près de l'horizon. Une technique fondée sur une méthode de détection couplée à une méthode de segmentation a été développée et nous avons également montré qu'il était très important de prendre en compte une modélisation de la moyenne du fond qui soit une fonction linéaire ou quadratique des coordonnées des pixels [378].

Dans le domaine optique, nous nous sommes intéressés à la poursuite de cibles sur des séquences d'images vidéo en caméra fixe, dans le cadre d'une collaboration avec l'entreprise Kaolab. Nous avons développé une approche fondée sur une mesure de la complexité stochastique qui permet de réaliser un compromis

entre une mesure de ressemblance et une technique de détection. De plus, cette technique a pu être implémentée avec des temps de calculs de l'ordre de quelques millisecondes par trame sur un PC standard [356].

En collaboration avec les équipes Membrane dynamics and lymphocyte signaling du Centre Immunologie de Marseille-Luminy (CIML) et l'équipe MOSAIC de l'Institut Fresnel, nous avons réalisé une étude sur la détection et le suivi de particules individuelles dans des séquences d'images de fluorescences. L'algorithme qui a été développé [40] est adapté au cas de particules soumises à des mouvements de diffusion pouvant être contraints et dont la luminance fluctue aléatoirement (phénomène de Blinking) d'une manière telle que les particules puissent être non visibles sur plusieurs images successives, puis réapparaître par la suite, ou s'éteindre définitivement (phénomène de Bleaching). L'objectif est de réaliser le suivi simultané d'un nombre important de particules afin de permettre l'étude de phénomènes de confinements encore mal modélisés actuellement en biologie. Ces travaux ont donné lieu à une protection par le dépôt d'une licence logiciel.

■ **THEME 4 : SEGMENTATION DES IMAGES BRUTEES**

Permanents participant : M. Allain, F. Galland, Ph. Réfrégier, A. Roueff

Les travaux sur la segmentation se sont poursuivis dans plusieurs directions au cours de ce quadriennal.

Tout d'abord sur le plan méthodologique, nous avons développé une technique de segmentation par contour actif qui modélise une variation spatiale de la valeur moyenne des niveaux de gris dans chaque région de l'image [350]. Pour cela cette moyenne est représentée par une fonction quadratique des coordonnées des pixels. Cette approche permet toujours d'aboutir à des techniques de segmentation par minimisation de la complexité stochastique (ou MDL pour "Minimum Description Length") sans paramètre à ajuster dans le critère à optimiser et qui sont rapides (de l'ordre de la seconde sur des images 256 x 256 pixels). Cette approche a été généralisée à la segmentation par grille active (c'est-à-dire avec un nombre inconnu de régions contrairement aux contours actifs adaptés aux cas d'une partition en deux régions) pour des problèmes de détection (voir thème 3). La deuxième avancée méthodologique concerne le développement de techniques de segmentation non paramétriques. Plus précisément, pour les techniques de segmentation MDL étudiées jusqu'à présent, la densité de probabilité du bruit devait être connue (de type gaussien ou Gamma ou poissonien, etc). Nous avons montré que cette densité de probabilité pouvait être estimée efficacement à l'aide de fonctions étagées, toujours dans le cadre MDL et donc sans paramètre à ajuster. Cette étude a été réalisée pour des contours actifs de type "level set" [340] puis pour des approches de type grilles actives [336].

Nous avons également proposé de nouvelles approches pour la segmentation d'images SAR (c'est-à-dire de radar à ouverture synthétique). Pour ce type d'images qui possèdent une grande dynamique, et à condition d'effectuer des prétraitements réversibles simples avant quantification, nous avons montré qu'une simple quantification des niveaux de gris sur dix à vingt niveaux permettait souvent d'obtenir des segmentations satisfaisantes [337]. Plus récemment, dans le cadre de la

segmentation d'images SAR haute résolution de zones urbaines [372], nous avons montré (en collaboration avec deux collègues de l'ENST ParisTech) l'intérêt d'une modélisation des fluctuations des niveaux de gris à l'aide de loi de Fisher. Cette approche nous a conduit à reconsidérer l'évaluation de la quantité d'information nécessaire pour le terme de codage des niveaux de gris et ouvre des perspectives intéressantes. Enfin, dans le cadre d'une collaboration avec Thales (TCA) une application de ces techniques de grilles actives a permis de mettre en place une approche hiérarchique [369] afin d'extraire des structures sémantiquement pertinentes de manière semi-supervisée (pour l'aide aux interprètes d'images radar). L'ensemble de ces travaux nous permet d'étudier actuellement, en collaboration avec une entreprise de la région, la segmentation d'images ultrasonores pour lesquelles l'onde est absorbée par le milieu au cours de sa propagation.

Le dernier volet de ce thème concerne l'étude de la segmentation d'images polarimétriques interférométriques SAR (PolInSAR). Ces images possèdent la particularité de présenter pour chaque pixel 6 valeurs complexes et implique donc de manipuler de grandes quantités de données car ces images sont souvent constituées de plusieurs dizaines de millions de pixels. Nous avons tout d'abord montré que la partition par grille active statistique fondée sur le principe MDL pouvait être adaptée et conduisait à des partitions efficaces pour l'estimation des propriétés PolInSAR (qui correspondent à 36 paramètres par régions) [351]. Cette approche a ensuite été appliquée pour évaluer des contrastes entre les régions dans les images qui sont fondés sur des mesures d'information de Bhattacharyya [362]. Nous avons en particulier montré que cette mesure permettait de choisir parmi des configurations de systèmes sous-optimaux qui conduisent à des mises en œuvre plus simples que de mesurer l'ensemble des données PolInSAR. Nous avons ensuite montré que l'on pouvait développer un cadre théorique unifié [373] pour analyser les contributions dues à l'activité de polarimétrie, de l'interférométrie ou simplement à la réflectivité des milieux éclairés que ce soit pour une région ou pour son contraste avec ses voisins.

CONCLUSION

Lors de ce quadriennal nous avons exploré différents sujets en nous fondant sur nos domaines d'expertise que sont le traitement statistique des images et l'optique statistique. Ces travaux nous ont conduit aux résultats présentés dans ce rapport et nous ont aussi permis d'accroître nos relations internationales. Nous pensons néanmoins restructurer nos activités sur un nombre plus restreint de thèmes applicatifs (voir le dossier projet de l'évaluation) tout en nous appuyant sur les domaines de compétences que l'on vient d'évoquer. Trois motivations sont à l'origine de cette évolution : stabiliser les thématiques et accroître l'intensité de nos collaborations avec d'autres équipes de l'institut, maîtriser l'évolution de nos domaines d'expertise afin de continuer à profiter de nos échanges scientifiques au sein de l'équipe, accroître notre attractivité pour le recrutement de post-doctorants et de chercheurs.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

■ PUBLICATIONS

En bref :

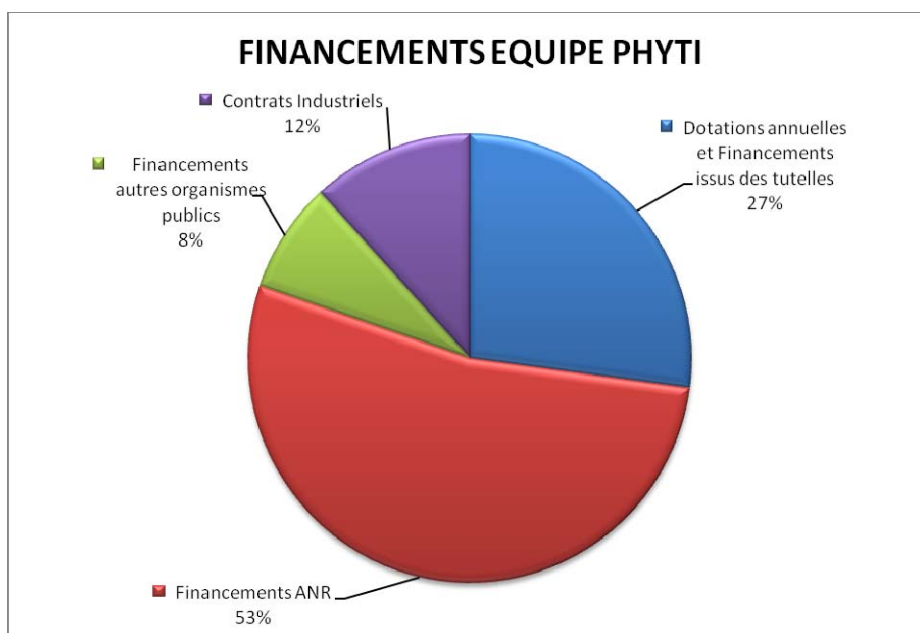
ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	48
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>).....	10
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	21
ACTN (<i>Communications avec actes dans un congrès national</i>)	5
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	12
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>).....	2
OV (<i>Ouvrages de vulgarisation</i>).....	1
B (<i>Brevets, licences, logiciels</i>)	1

■ TRANSFERTS DE TECHNOLOGIE, CREATION D'ENTREPRISES

Deux anciens doctorants ont été co-créateurs d'une startup KAOLAB (entreprise de vidéosurveillance) – Frédéric Guérault et Pascal Martin.

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE PHYTI	
Dotations annuelles et Financements Issus des Tutelles	75 853.72 €
Financements ANR	148 625.72 €
Financements Autres Organismes Publics	22 362.81 €
Contrats Industriels	32 890.00 €
TOTAL	279 732.25 €



Bilan financier détaillé de l'équipe PHYTI

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date de début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Dotations annuelles et financements issus des tutelles	2006	ALLAIN Marc	Equipement segmentation automatique non supervisé : conception de modules pour les systèmes embarqués	BQR UPCAM	16/02/2006	31/12/2006	6 000.00 €	6 322.12 €	UPCAM
	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		6 032.61 €	UPCAM
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	8 387.83 €	10 031.84 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		1 803.94 €	UP
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		7 560.00 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	7 560.00 €	9 041.76 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	7 380.00 €	8 826.48 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		917.72 €	UP
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	8 610.11 €	10 297.69 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		6 193.32 €	ECM
	2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	7 380.12 €	8 826.24 €	CNRS
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES								75 853.72 €	
Financements ANR	2009	GALLAND Frédéric	Outil de Simulation pour la Formation des Images Optiques Sous-Marines en milieu Turbides	ANR	25/03/2009	24/03/2012	124 269.00 €	148 625.72 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR								148 625.72 €	
Financements autres organismes publics	2007	REFREGIER Philippe	Optimisation et caractérisation des traitements en imagerie optique sous-marine active	IFREMER	14/11/2007	13/11/2010	10 000.00 €	11 960.00 €	ECM
	2009	GALLAND Frédéric	Outil de Simulation pour la Formation des Images Optiques Sous-Marines en milieu Turbides	POLE DE COMPETITIVITE	25/03/2009	24/03/2012	8 698.00 €	10 402.81 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								22 362.81 €	
Contrats Industriels	2005	REFREGIER Philippe	Technique de segmentation par grille active statistique et minimisation de la complexité stochastique	CIFRE THALES	01/01/2005	31/12/2007	22 500.00 €	26 910.00 €	UPCAM
	2009	ALLAIN Marc	Développement d'une méthode de traitement du signal optique au sein d'un modèle in vivo, dans le but de localiser et de quantifier un évènement dans un volume en profondeur dans les tissus à partir d'un signal de fluorescence ou d'améliorer les conditions de cette localisation ou quantification	QUIDD	25/05/2009	24/05/2010	5 000.00 €	5 980.00 €	CNRS
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								32 890.00 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE PHYTI								279 732.25 €	

COLLABORATIONS

Les affiliations des personnes mentionnées dans cette rubrique sont les affiliations de la période de collaboration. Dans certains cas, elles peuvent être différentes des affiliations actuelles de ces mêmes personnes.

■ NATIONALES

- Estimation en optique quantique :

Claude Fabre et Nicolas Treps
Laboratoire Kastler Brossel
Université Pierre et Marie Curie-Paris 6
Place Jussieu - CC 74
75252 Paris cedex 05

- Polarisation :

Jean-Yves Tournet
University of Toulouse
IRIT - ENSEEIHT - TéSA
2 rue Camichel
BP 7122, 31071 Toulouse cedex 7

Mehdi Alouini
Thalès Research and Technology France
RD128
91767 Palaiseau Cedex France

- Radar Polarimétrique interférométrique :

Pascale Dubois-Fernandez et Xavier Dupuis
ONERA / DEMR
Centre de Salon de Provence
BA 701, 13661 SALON - AIR

- Détection radar :

Laurent Savy
Thalès Airborne Systems, 2 avenue Gay-Lussac, 78852 Elancourt Cedex

- Détection en Imagerie optronique :

Guillaume DELYON
Ingénieur Études
Service Traitement des Images - TBU/STI
Thalès Optronique S.A.
2, avenue Gay-Lussac
CS 90502 - 78995 ELANCOURT CEDEX

- Poursuite pour la vidéosurveillance :

Pascal Martin
KAOLAB
ZAC les Frênes
209 rue du Bouleau
13109 Simiane Collongue

- Traitement d'images SAR :

Jean-Marie Nicolas, Florence Tupin
Institut TELECOM, TELECOM ParisTech, CNRS UMR 5141, LTCI, 46 rue Barrault,
75634 Paris Cedex 13, France

Léonard Denise,
Thalès Communication Massy, France

- Traitement pour la biologie :

Didier Marguet, Arnauld Sergé
Equipe Membrane dynamics and lymphocyte signaling.
Centre d'Immunologie de Marseille Luminy
Parc Scientifique de Luminy, Case 906
13288 Marseille Cedex 09, FRANCE

- Imagerie en milieu diffusant :

M. Massonneau,
Quidd S.A.S., 50 Rue Ettore Bugatti, 76800 Saint Etienne du Rouvray, France

R. Carminati
Institut Langevin, Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (ESPCI),
CNRS UPR 5, 10 Rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05,

- Polarisation et sismique :

Philippe Roux
Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Maison des Géosciences
Campus Universitaire, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France

- Imagerie Sous-Marine :

Anne-Gaëlle ALLAIS, Jan OPDERBECKE
Ifremer, Toulon

Stéphane NICOLAS
Société Prolexia
Centre d'activité des Playes, ZE Jean Monnet, 865 Avenue de Bruxelles, 83500 La
Seyne Sur Mer, France

Malik CHAMI (MCF)
Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer (LOV)

■ INTERNATIONALES

- Coherence et polarisation :

Alfredo Luis

Departamento de Optica, Facultad de Ciencias Fisicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain

Jani Tervo,

Department of Physics and Mathematics, University of Joensuu, P.O. Box 111, FI-80101 Joensuu, Finland

Ari T. Friberg

Department of Physics and Mathematics, University of Joensuu, P.O. Box 111, FI-80101 Joensuu, Finland
Department of Applied Physics, Helsinki University of Technology, P.O. Box 3500, FI-02015 Teknillinen Korkeakoulu, Finland

Department of Microelectronics and Applied Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Electrum 229, SE-164 40 Kista, Sweden

- Holographie numérique, restauration d'images (fin en 2006)

Bahram Javidi

Electrical & Computer Engineering Dept.

371 Fairfield Road

Unit 2157

Storrs CT 06269-2157, USA

Cette collaboration s'est terminée en 2006 par la rédaction d'un chapitre d'ouvrage [Physics of Automatic Target Recognition, Javidi & Sadjadi, Springer, 2006].

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

Ph. Réfrégier : Membre du comité scientifique de conférences internationales : IPTA 2010, AIT2010.

F. Galland : Membre du comité de programme (Program Comitee Member) pour les conférences suivantes : IGARSS 2008, 2009 et 2010, IPTA 2008 et 2010, GRETSI 2009.

■ PRIX ET DISTINCTIONS

Ph. Réfrégier : "Fellow de l'European Optical Society" en 2009

■ MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX

Ph. Réfrégier : Associate Editor Optics Express (image processing and coherence theory).

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

N. Bertaux :

- Membre titulaire de la commission de spécialiste 61ème section de l'Ecole Centrale de Marseille (ECM) de 2005 à 2009.
- Membre du CHS de l'ECM depuis 2005
- Membre suppléant du CTP de l'ECM depuis 2006

F. Galland :

- Membre du Conseil de Laboratoire de l'Institut Fresnel

Ph. Réfrégier :

- Vice-président sortant de la SFO de novembre 2005 à juillet 2007.
- Membre élu du comité de la médaille André Blondel de 2004 à 2009.
- Jusqu'en 2007 : membre de la commission de spécialistes de l'université Aix Marseille III et de l'Ecole Centrale de Marseille.
- Membre du conseil scientifique du laboratoire MIPS (Mulhouse).
- Membre du Conseil d'Evaluation et d'Orientation du Département Optique Théorique et Appliqué de l'Onéra
- Expert pour l'évaluation des laboratoires (2006, 2007 et 2010).

M. Roche :

- Membre élu au CE de l'ECM (depuis 11/2008)
- Membre élu au CA de l'ECM (de 09/2006 à 11/2008)
- Membre élu au CS de l'ECM (de 09/2004 à 11/2006)
- Membre suppléant de la commission de spécialiste mixte 61-27 de l'université Paul Cézanne de 09/2005 à 09/2008.

A. Roueff :

- Membre élu au CS de l'ECM (depuis 02/2007)

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

Aucune HDR soutenue sur la période du quadriennal.

THESES

■ EN COURS

5 doctorants en cours de thèse dans l'équipe (dont une étudiante à temps partagé avec l'équipe Mosaïc).

- **SOUTENUES**

9 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

Sur ces 14 thèses, une doctorante est Espagnole (Barcelone), une autre est en formation continue (ingénieur Ifremer), une vient de l'école Centrale Paris, un doctorant vient de l'Institut Polytechnique de Grenoble, 9 sont issus de l'école Centrale de Marseille et un dernier doctorant vient de l'ENS Cachan.

- **DEVENIR DES DOCTORANTS**

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
P. MARTIN	Directeur Scientifique	Co-créateur de Kaolab - France
N. ROUX	Ingénieur	Entreprise SAFRAN - Paris - France
G. DELYON	Ingénieur	Thalès TOSA - Elancourt - France
C. ENDERLY	Ingénieur	Thalès Systèmes Aéroportés - Paris - France
J. MORIO	Ingénieur	ONERA - Paris - France
G. PONS	Ingénieur	MEDIPRO - Barcelone - Espagne
E. MAGRANER	Ingénieur	GENAVIR - La Seyne sur Mer - France
JF. BOULANGER	Ingénieur	Entreprise SAFRAN - Paris - France
J. FADE	MCF - Chaire d'excellence	Université de Rennes - France

AUTOEVALUATION DE L'EQUIPE PHYTI

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne (organisationnelle)	Strengths (Forces)	Weaknesses (Faiblesses)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'équipe présente à la fois des activités propres dans les domaines du traitement statistique des images (<i>avec un positionnement original en techniques statistiques fondées sur la théorie de l'information</i>) et de l'optique statistique, ainsi qu'à l'interface de ces deux domaines. ▪ Expertise en algorithmie rapide. ▪ Nombreuses collaborations établies lors du quadriennal : <ul style="list-style-type: none"> - avec des équipes locales (Institut Fresnel, CIML), - des équipes nationales renommées (LKB, Institut Langevin), - des équipes internationales (Finlande, Espagne). ▪ Placement des doctorants (poste trouvé avant la soutenance pour la très grande majorité de nos étudiants et ceci très majoritairement dans l'industrie). ▪ Travail de structuration des thèmes à la fin du quadriennal et dans le projet. ▪ Bonne dynamique pour que plusieurs HDR soient soutenues durant le prochain quadriennal. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La présence d'un seul HDR, ▪ L'équipe présente peu de recrutement CNRS. ▪ Le nombre de doctorants d'origine diversifiée et de post-doctorants encore trop faible. ▪ Thèmes trop variés au cours du quadriennal. 	
Origine Externe (environnement)	Opportunities (Opportunités)	Threats (Menaces)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contexte favorable à la croissance de collaborations avec les autres équipes de l'Institut Fresnel. ▪ Synergie accrue entre notre expertise scientifique et celle d'organismes de recherches régionaux (IFREMER, ONERA). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La perte d'un soutien technique en informatique au sein de l'équipe conduit à la déstructuration de l'informatique de recherche qui est de nature à pénaliser nos activités de recherche. ▪ Une trop forte réponse à la demande au niveau applicatif pourrait conduire à une déconnexion avec le développement de travaux amont et méthodologique. ▪ L'évolution de nos thèmes de recherche pourrait réduire l'éventail des débouchés pour nos étudiants et rendre ainsi leur recrutement plus difficile. 	

PROJET PHYTI

Les quatre années écoulées ont été exploratoires car elles faisaient suite au recrutement d'un nouveau chercheur et de deux enseignants-chercheurs. Notre objectif est de recentrer l'activité autour des domaines qui nous semblent les plus prometteurs au vu de notre expérience. Ce travail de restructuration a été entrepris depuis 2008 et nous avons choisi de nous recentrer sur l'imagerie pour la biologie, l'imagerie radar et l'imagerie dans les milieux diffusants. Ces domaines sont déjà développés en collaboration avec d'autres équipes de l'Institut Fresnel (SEMO et MOSAIC), avec lesquelles les liens se sont renforcés. Ils sont également conduits avec des organismes de recherche de la région (Onéra, Ifremer), ainsi qu'avec des industriels nationaux (Thalès, SSI) et des collaborations internationales sur les sujets les plus amont.

Dans le cadre de l'imagerie pour la biologie, en collaboration avec le CIML et l'équipe MOSAIC, l'objectif sera d'étudier et de mettre en œuvre des traitements numériques adaptés - pour l'estimation (positions et suivis de trajectoires de particules), la détection (confinement des particules dans la membrane cellulaire), l'analyse (cartographie de la membrane plasmique) - demandés ou rendus possibles par les nouvelles techniques d'observation.

Plus directement avec l'équipe MOSAIC, des travaux seront conduits dans le cadre de la discrimination de particules à partir de l'information de polarisation.

Pour le thème de l'imagerie Radar, en collaboration avec l'Onéra, nos travaux seront axés sur l'estimation de paramètres dans les images Interférométrique et Polarimétrique SAR. En particulier, nous étudierons les interactions entre les modèles des fluctuations et l'estimation des paramètres d'intérêts.

Dans le cadre de l'imagerie en milieux faiblement diffusants, en collaboration avec l'Ifremer, l'objectif général sera axé sur l'amélioration de la vision sous-marine, en particulier, sur les problèmes d'estimation de paramètres pour le "mosaicing" et sur la restauration d'images.

Dans le cadre de l'imagerie en milieux fortement diffusants, en collaboration avec l'équipe SEMO et l'Institut Langevin, nos travaux concerneront la tomographie optique pour la biologie et auront pour objectif d'améliorer les reconstructions des volumes imagés en cherchant à optimiser la configuration.

Les méthodes sur lesquelles nous nous appuyons sont toujours la mise en œuvre d'outils statistiques et issus de la théorie de l'information pour l'analyse et le traitement d'images bruitées. Nous avons cependant entrepris de prendre encore plus explicitement en compte les modèles de formation d'images, ce qui nécessite une compréhension plus fine des processus physiques mis en jeu.

Nous souhaitons également amplifier une seconde originalité de notre équipe qui est relative au développement d'algorithmes rapides et avec un minimum de paramètres

à régler par les utilisateurs. Nous pensons qu'il s'agit en effet de verrous technologiques qui limitent souvent les applications, en particulier pour leurs emplois éventuels dans des systèmes embarqués.

Sur le plan plus conceptuel, la séparation des notions d'aléatoire (reliée à la difficulté à prédire) et de complexité (reliée à la difficulté à décrire) nous semble être à développer. En particulier, c'est un point à approfondir pour des études amont sur la cohérence en lumière partiellement polarisée qui devrait aboutir à des notions intéressantes non seulement pour l'optique mais aussi pour le radar.

Jusqu'à présent nous avons considéré les mesures d'information pour le traitement des données (complexité stochastique pour la segmentation et l'estimation de l'ordre dans les modèles) et pour la caractérisation (Borne de Cramér-Rao, mesure de Kullback, mesure de Bhattacharyya ou de Chernoff pour la définition de contraste). Il nous semble qu'une interaction plus étroite entre les techniques de traitement statistique et celles issues de la théorie de l'information constitue un sujet intéressant qui devrait déboucher sur des nouvelles techniques de traitement d'images adaptées aux domaines d'applications que nous avons choisi de privilégier.

BILAN SCIENTIFIQUE RCMO

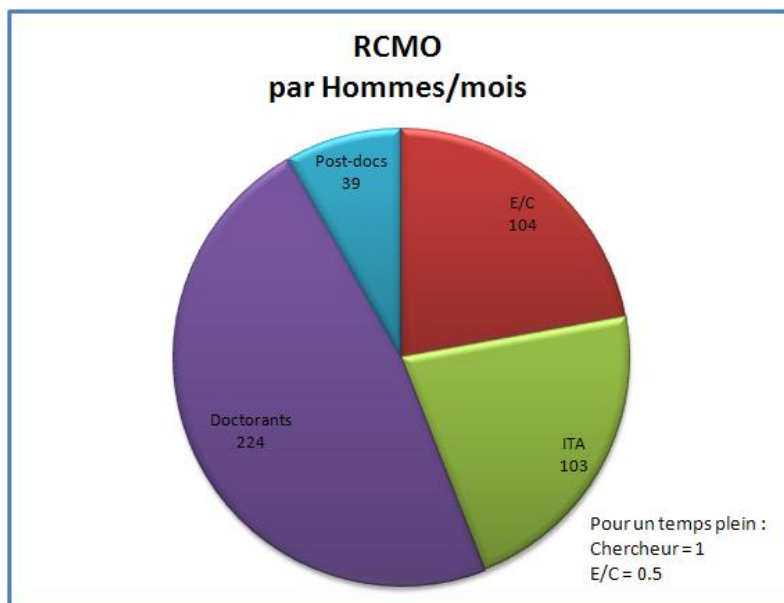
Responsable d'équipe : Michel LEQUIME

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
ABEL-TIBERINI Laëtitia	MCF	ECM (arrivée : 01.09.06)
CATHELINAUD Michel	IR2	CNRS (départ MRCT déc. 2007)
HECQUET Christophe	IR2	CNRS (arrivée : 01.01.10)
KOC Cihan	IE1	CNRS
LEMARCHAND Fabien	MCF	ECM
LEMARQUIS Frédéric	MCF	ECM
LEQUIME Michel	PR1	ECM
ROUSSEL Luc	IE1	CNRS (départ mutation : 01.09.07)

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
de DENUS-BAILLARGEON Marie-Maude	Doctorante	2010
GAO Lihong	Doctorante	2012
SORCE Stéphane	Doctorant	2011
STOJCEVSKI Dragan	Ingénieur d'Etudes CDD	



104 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 8,6 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 1,9 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

L'équipe RCMO de l'Institut FRESNEL a vocation à réaliser, comme son acronyme le rappelle, des activités de **R**echerche relatives aux matériaux, composants et technologies de **C**ouches **M**inces **O**ptiques. A ce titre, elle est concernée par l'ensemble de la thématique du filtrage optique interférentiel, ainsi que par celle relative à l'utilisation, à cette fin, de nanocomposites et de métamatériaux. Elle s'intéresse également au fonctionnement et à l'optimisation de cavités planaires émissives, dont le traitement classique recouvre celui d'empilements multicouches pour lesquels les termes sources sont localisés à l'intérieur de la structure.

Au 1^{er} Janvier 2006, cette équipe réunissait 9 personnes, dont 3 enseignants-chercheurs (1 Professeur ECM et 2 Maîtres de Conférences ECM), 3 ITA CNRS Titulaires (1 Ingénieur de Recherche, 1 Ingénieur d'Etude et 1 Technicien) et 3 doctorants, dont l'un en co-tutelle avec l'Université de Montréal.

Au 30 Juin 2010, la taille de cette équipe est restée globalement inchangée (**10 personnes dont 6 permanents**), mais sa composition a fait l'objet d'importantes évolutions par rapport à cette situation initiale, au travers de 4 recrutements (1 Maître de Conférences ECM en septembre 2006, 1 Ingénieur d'Etude CNRS en décembre 2008, 1 Ingénieur de Recherche CNRS en janvier 2010 et 1 Ingénieur d'Etude non titulaire en septembre 2009 [CDD de 21 mois dans le cadre du projet PACA2M]) et de 2 départs (mutation NOEMI en juillet 2007 pour un Ingénieur d'Etude, départ vers la MRCT en décembre 2007 pour un Ingénieur de Recherche).

Ce n'est donc que très récemment (Janvier 2010) que l'on peut considérer que notre équipe a recouvré une structure de personnels en adéquation minimale avec ses objectifs.

Cette relative instabilité n'a toutefois pas été réellement préjudiciable à notre production scientifique puisque, sur la période Janvier 2006 - Juin 2010, notre équipe a participé à **84 publications** (32 ACL, 1 ASCL, 7 INV, 9 ACTI, 34 COM et 1 B), dont 26 au titre de ses propres activités, 35 en partenariat avec une autre équipe de l'Institut Fresnel (essentiellement MAP2 et CLARTE) et 23 dans le cadre de collaborations avec des équipes de recherche extérieures (essentiellement l'équipe Verres et Céramiques du Laboratoire Sciences Chimiques de Rennes et le Laboratoire des Revêtements Fonctionnels et Ingénierie des Surfaces de l'École Polytechnique de Montréal). Le chiffre de 32 ACL doit en particulier être mis en regard du nombre de chercheurs équivalent temps plein de l'équipe (2), ce qui conduit dans notre cas à un taux annuel de plus de 3 ACL par an et par chercheur ETP.

Pour mener à bien la part importante de ses activités en lien avec la recherche finalisée et le développement technologique, l'équipe RCMO met en oeuvre **4 bâtis** couches minces optiques, permettant chacun l'accès à une technologie de dépôt différente (EBD - *Electron Beam Deposition*, IAD - *Ion Assisted Deposition*, RLVIP - *Reactive Low Voltage Ion Plating* et DIBS - *Dual Ion Beam Sputtering*). La disponibilité d'une telle palette technologique constitue bien évidemment un avantage, car elle permet à la fois de choisir le procédé de dépôt le mieux adapté à l'objectif, mais aussi de réaliser des études comparatives sur l'influence, à choix de matériaux identique, du procédé de dépôt (on citera notamment à titre d'exemple les études menées en collaboration avec l'équipe MAP2 sur la résistance à la fluence laser des traitements multicouches). Mais cette variété est également source de contraintes, à la fois techniques, organisationnelles et financières, car il s'agit pour nous de maintenir constamment opérationnels de nombreux équipements, pour la plupart assez anciens (3 de nos 4 bâtis datent des années 80 et le plus récent [DIBS] a été acquis en 2000). Or, il faut savoir que les technologies de dépôt ont réalisé ces 10 dernières années des progrès considérables, notamment en termes de vitesse, de fiabilité et d'automatisation. Ce sont ces deux derniers constats - risque d'obsolescence et souci d'innovation technique - qui nous ont conduit à envisager l'acquisition d'une nouvelle machine, de technologie *Magnetron Sputtering*, qui se trouve aujourd'hui inscrite au Contrat de Plan Etat/Région 2007-2013 de l'Université Paul Cézanne. Dans ce même cadre (CPER), il est également prévu l'aménagement d'un espace de salles blanches et grises, adapté à l'installation en un même lieu, l'**Espace Photonique**, de l'ensemble des moyens technologiques de l'équipe.

RESULTATS MARQUANTS

■ THEME 1 : DESIGN ET MODELISATION

- Th1-1 : Design

L'équipe RCMO dispose d'une expertise de tout premier plan en conception de filtres interférentiels, notamment détenue par Fabien Lemarchand et Frédéric

Lemarquis, et qui est unanimement reconnue, aussi bien au plan national qu'international. Une illustration claire de cette situation est très certainement donnée par le résultat des *Design Problems*, organisés par l'OSA dans le cadre de la conférence *Optical Interference Coatings 2007*, et qui ont vu Fabien Lemarchand être lauréat des 2 problèmes posés à cette occasion (on rappelle que ces *Design Problems* proposent rituellement à l'ensemble de la communauté internationale des cas de conception de filtres interférentiels particulièrement complexes, les réponses étant évaluées par un jury dédié, grâce à la mise en œuvre de fonctions de mérite multi-paramètres). Cette même expertise nous a également conduits à être sollicités par de nombreux industriels et donneurs d'ordre, notamment dans les domaines de l'espace et de l'astronomie, pour assurer la définition de fonctions de filtrage adaptées à des instruments d'observation en phase de conception. Le démarrage d'une thèse sur la thématique connexe du *Reverse Engineering* (Lihong Gao - *A posteriori determination of the opto-geometrical parameters (thickness, refractive index) of metallic or dielectric thin film coatings inside a stack - Application to thin film Reverse Engineering*) est très certainement le garant du maintien de cette expertise à un haut niveau d'excellence.

- *Th1-2 : Modélisation*

Côté Modélisation, l'équipe a abordé durant la période 2 thématiques nouvelles, à savoir d'une part la détermination, sous Comsol Multiphysics, de la déformation mécanique d'un substrat dont la surface est recouverte, éventuellement de manière partielle, d'un empilement multicouches (ce modèle, développé dans le cadre de la thèse de Sébastien Michel, permet de généraliser à des géométries de traitement complexes les résultats fournis dans le cas standard homogène par l'utilisation de la formule de Stoney), et d'autre part, la modélisation des propriétés spectrales de micro-cavités planaires multicouches de type OLED : dans cette étude, menée à l'origine dans le cadre d'un contrat avec la société Astron Fiamm Safety, nous avons notamment montré comment transformer l'optimisation de l'efficacité d'extraction de la lumière émise par la couche organique active en un problème couches minces classique, où doivent être simultanément ajustées les performances en réflexion (amplitude et phase) de deux sous-empilements situés de part et d'autre de cette couche active.

■ **THEME 2 : TECHNOLOGIES DE REALISATION**

- *Th2-1 : Contrôle optique large bande*

Le travail de thèse de Bruno Badoil, dont la soutenance orale s'est déroulée en novembre 2007, a conduit au développement de systèmes de contrôle optique temps réel de filtres interférentiels en cours de dépôt, opérant simultanément en réflexion et en transmission, et couvrant le domaine spectral allant du visible au très proche infrarouge (400 nm - 1000 nm). La disponibilité de ce moyen a notamment rendu possible la réalisation d'empilements complexes à couches non quart d'onde et à grand domaine spectral d'usage (miroirs, antireflets, absorbeurs).

La structure de ce système de contrôle a été ensuite adaptée, à partir d'avril 2009, aux contraintes de la machine de dépôt PACA2M (**P**ulvéris**A**tion **C**athodique pour optiques de **2 M**ètres), développée, sous financement FUI et maîtrise d'œuvre CILAS,

par un consortium réunissant, outre CILAS, Alliance Concept, Thalès Alenia Space et l'Institut Fresnel. Cette adaptation a notamment porté sur l'extension du domaine spectral de mesure à la gamme 280 nm - 2100 nm et sur la mise en œuvre de plusieurs points de contrôle déportés par fibres optiques.

- **Th2-2 : Filtres linéairement variables**

Notre équipe (Frédéric Lemarquis, Laetitia Abel-Tibérini, Cihan Koc) a poursuivi le développement de filtres passe-bande linéairement variables entrepris au cours de la Thèse de Laetitia Abel-Tibérini en abordant la question centrale de la réjection hors bande. Ces travaux, associant design et fabrication, ont été réalisés dans le cadre du programme ESA UCS (*Ultra Compact medium-range Spectrometer for land application*), et ont conduit à la fabrication de filtres linéairement variables tout diélectrique présentant un gradient de l'ordre de 90 nm/mm et adaptés au domaine spectral 400 nm - 1000 nm. La fonction complète de filtrage associe en final 1 filtre passe-bande 3 cavités (41 couches) et 2 filtres de blocage (passe-haut à 97 couches et passe-bas à 106 couches), soit un total de près de 250 couches.

- **Th2-3 : Transfert**

Au cours de son travail de thèse (Bourse CIFRE en partenariat avec CILAS), Marie Duchêne est parvenue à faire la démonstration expérimentale du concept de transfert d'un empilement multicouches de type allumette, d'un substrat donneur vers un substrat accepteur, transfert qui inclut le collage de l'empilement sur le substrat accepteur par adhérence moléculaire simple ou renforcée, et le décollement de ce même empilement du substrat donneur par dissolution d'une couche sacrificielle en chrome. Cette démonstration ouvre la voie à l'utilisation de cette technique de *lift-up* comme alternative intéressante à la structuration plus classique réalisée par *lift-off*, en particulier lorsque le nombre de filtres élémentaires différents intervenant dans la fonction de filtrage (et donc le risque de fabrication) augmente.

■ **THEME 3 : NOUVEAUX CONCEPTS**

- **Th3-1 : Light Trimming**

Une démonstration expérimentale particulièrement convaincante du concept de *Light Trimming* (proposé de manière théorique par Julien Lumeau et Michel Lequime en 2004/2005) a été obtenue en 2007/2008 par Weidong Shen, Michel Cathelinaud et Michel Lequime. On rappelle que ce concept vise à rendre possible une structuration spatiale des propriétés spectrales d'un filtre interférentiel, grâce à l'illumination locale de l'une des couches de ce filtre, sous réserve que celle-ci soit de nature photosensible. Il devient ainsi envisageable de réaliser des filtres d'apodisation laser à profil spatial quelconque ou des filtres bande étroite ultra uniformes. Notre démonstration expérimentale a utilisé comme composant test un filtre passe bande (longueur d'onde centrale 1546,5 nm, largeur totale à mi-hauteur 4 nm), dont le *spacer* a été réalisé par évaporation sous vide (technologie EBD) d'un verre de chalcogénure de type 2S1G ($\text{Ge}_{15}\text{Sb}_{20}\text{S}_{65}$) et a donc fortement bénéficié de la collaboration étroite que nous avons nouée autour de l'emploi en couches minces de ces matériaux avec l'équipe Verres et Céramiques du Laboratoire Sciences Chimiques de Rennes

(Virginie Nazabal notamment). Une cartographie de la longueur d'onde centrale de ce filtre a été dans un premier temps réalisée à l'issue de sa fabrication, et a mis en évidence une variation crête à crête de ce paramètre de l'ordre de 3 nm sur une zone carrée de 5 x 5 mm². Après application d'un *Light Trimming* optimisé, cette variation crête à crête a été ramenée à 0,05 nm sur la même zone utile. Nous avons en outre fait la preuve que l'efficacité de cette correction n'était pas affectée par de longues périodes de stockage.

- Th3-2 : Nano structuration par laser femtoseconde

L'objectif ultime du programme blanc FESTIC (**FE**mt**SO**nd laser **T**riming of optical **I**nterference **C**oatings), supporté par l'ANR, la Région PACA et le Conseil Général des Bouches-du-Rhône à partir de décembre 2006 et réunissant, sous maîtrise d'œuvre RCMO, l'équipe MAP2 de l'Institut Fresnel, le Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques (LP3) de l'Université de la Méditerranée, le Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) de l'Ecole Polytechnique et la société CILAS Marseille, était de généraliser ce concept de *Light Trimming* à des matériaux couches minces standards (c'est-à-dire non photosensibles) en rendant possible, grâce à la mise en œuvre de sources lasers femtoseconde, le micro-usinage de la couche superficielle et/ou la photo-inscription de couches profondes. Ce programme a notamment permis à notre équipe de développer des moyens de contrôle à très haute résolution spatiale de variations locales d'indice (résolution meilleure que le ‰).

CONCLUSION

L'équipe RCMO occupe une place importante et relativement à part dans le paysage scientifique français, puisqu'elle constitue l'une des rares plateformes technologiques entièrement dédiée aux applications visible et proche infrarouge des couches minces optiques. Les investissements, tant en équipements qu'en bâtiments, qui ont été décidés dans le cadre du Contrat de Plan Etat/Région 2007-2013, vont lui permettre de conforter durablement cette position en modernisant ses moyens de réalisation et de contrôle, et valoriseront à son meilleur niveau l'accord de principe qui vient de lui être fait de rejoindre la centrale technologique régionale CT-PACA.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

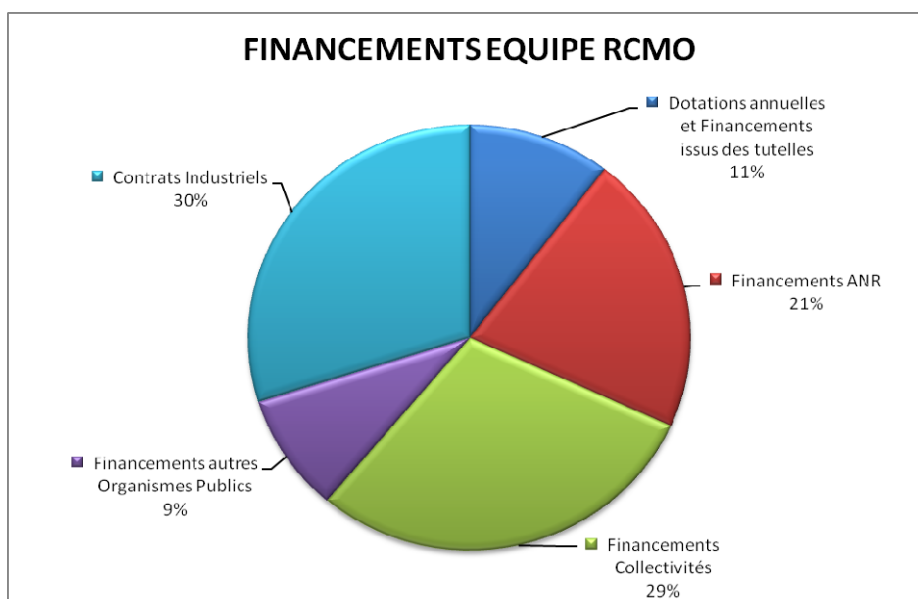
■ PUBLICATIONS

En bref :

ACL (Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture)	32
ASCL (Articles dans des revues internationales ou nationales sans comité de lecture)....	1
INV (Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation).....	7
ACTI (Communications avec actes dans un congrès international)	9
COM (Communications orales sans actes dans un congrès international ou national) ...	34
B (Brevets).....	1

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE RCMO	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	72 560.39 €
Financements ANR	147 826.00 €
Financements Collectivités	203 608.00 €
Financements Autres Organismes Publics	62 101.00 €
Contrats Industriels	207 043.00 €
TOTAL	693 138.37 €



Bilan financier détaillé de l'équipe RCMO

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Dotations annuelles et financements des tutelles	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		7 239.13 €	UPCAM
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	9 785.80 €	11 703.82 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		2 104.60 €	UP
	2007	CATHELINAUD Michel	consommable et frais de mission Projet Exploratoire Pluridisciplinaire (ST2I)	PEPS CNRS	02/07/2007	01/07/2008	1 500.00 €	1 794.00 €	CNRS
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		8 820.00 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	8 820.00 €	10 548.72 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	7 380.00 €	8 826.48 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		917.72 €	UP
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	6 150.08 €	7 355.50 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		4 423.80 €	ECM
	2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	7 380.12 €	8 826.62 €	CNRS
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS DES TUTELLES								72 560.39 €	
Financements ANR	2006	LEQUIME Michel	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photo-inscription laser femtoseconde"	ANR	28/12/2006	27/06/2010	123 600.00 €	147 825.60 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR								147 825.60 €	
Financements Collectivités	2007	LEQUIME Michel	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photo-inscription laser femtoseconde"	CONSEIL REGIONAL PACA	17/04/2007	16/04/2012	5 000.00 €	5 980.00 €	CNRS
	2007	LEQUIME Michel	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photo-inscription laser femtoseconde"	CONSEIL GENERAL BDR	09/03/2007	08/03/2012	35 000.00 €	41 860.00 €	CNRS
	2008	LEQUIME Michel	PACA2M : Pulvérisation cathodique pour optique de 2 metres	CONSEIL GENERAL BDR	26/02/2008	25/02/2013	95 768.00 €	95 768.00 €	ECM
	2008	LEQUIME Michel	PACA2M : Pulvérisation cathodique pour optique de 2 metres	CONSEIL REGIONAL PACA	30/07/2008	29/07/2013	60 000.00 €	60 000.00 €	ECM
TOTAL TTC FINANCEMENTS COLLECTIVITES								203 608.00 €	
Financements autres organismes publics	2006	LEQUIME Michel	FESTIC, optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photo-inscription laser femtoseconde"	POLE DE COMPETITIVITE	28/12/2006	27/06/2010	12 000.00 €	14 352.00 €	CNRS
	2009	LEMARQUIS Frédéric	Recherche du meilleur procédé de dépôt de traitement optique sur un détecteur CCD (Charge Couple Device) aminci	CNES	17/12/2009			47 749.10 €	UPCAM
TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								62 101.10 €	
Contrats industriels	2007	LEQUIME Michel	Etude et réalisation de deux types de filtres linéairement variable, l'un couvrant un large domaine spectral visible plus proche IR)	INSU/LESIA	20/06/2005	19/06/2007	20 750.00 €	24 817.00 €	UPCAM
	2007	LEQUIME Michel	Ultra compact spectrometer - filtre linéairement variable tout diélectrique	ESA GALILEO AVIONICA	01/05/2007	01/11/2008	60 978.26 €	72 930.00 €	UPCAM
	2007	LEQUIME Michel	Métrologie des filtres allumettes Sentinel 2	CILAS	23/02/2007	31/12/2010	30 030.00 €	35 915.88 €	UPCAM
	2007	LEQUIME Michel	Etude et réalisation de traitements réfléchissants d'un Fabry - Perot à balayage	LAM - UMR	29/11/2007	28/11/2008	15 000.00 €	17 940.00 €	CNRS
	2008	LEQUIME Michel	Etudes d'optimisation de la structure des OLED	ASTRON FIAMM SAFETY	05/03/2008	04/03/2009	42 200.00 €	50 417.20 €	ECM
	2008	LEQUIME Michel	Expertise technico-économique de la demande d'aide à l'innovation n°A0708011Q déposée par HOLOGRAM INDUSTRIES	OSEO	17/12/2008	31/12/2009	1 700.00 €	2 033.20 €	ECM
	2009	LEMARQUIS Frédéric	Etude des traitements AR et miroirs de l'instrument EAGLE	EAGLE	16/10/2009	31/12/2010	2 500.00 €	2 990.00 €	CNRS
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								207 043.28 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE RCMO								693 138.37	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

- ✓ Equipe Verres et Céramiques (UMR CNRS 6226 Sciences Chimiques de Rennes) – Virginie Nazabal, Frédéric Charpentier, Jean-Luc Adam
Utilisation des verres de chalcogénure pour la réalisation de filtres optiques interférentiels, notamment photosensibles [3 ACL, 1 INV, 3 COM]
- ✓ Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques (LP3, UMR CNRS 6182) de l'Université de la Méditerranée – Olivier Uteza, Nicolas Sanner, Marc Sentis
Programme ANR Blanc FESTIC (Optimisation des performances de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photo-inscription laser en régime femtoseconde)
- ✓ Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (UMR CNRS 6110)
Jean-Luc Gach, Michel Marcelin, Philippe Amram - Développement de miroirs large bande pour les étalons Fabry-Perot de l'instrument 3D-NTT [1 ACTI]
Jean-Gabriel Cuby – Filtre interférentiel pour la suppression des raies d'émission OH du fond de ciel [1 B]
Sébastien Vivès – Pré-étude des traitements réfléchissants et antireflets de l'instrument EAGLE (E-ELT)
- ✓ CILAS Etablissement de Marseille - Catherine Grèzes-Besset
Contrôle optique large bande pour la machine de dépôt PACA2M (Pulvérisation Cathodique pour optique de 2 mètres) [1 COM]
Développement d'une nouvelle technologie pour la réalisation de filtres de type « allumette » [1 COM, 1 Thèse CIFRE]
- ✓ CNES Toulouse
Karine Gasc – Matrice de filtres couleurs pour CCD [1 Thèse CNES/Région]
Jacques Loesel – Recherche du meilleur procédé de dépôt sur un détecteur CCD aminci
- ✓ ASTRIUM - Dominique Dubet – Pré-étude des filtres passe-bande de l'instrument ESA FIMAS (*Fluorescence Imaging Spectrometer*)

■ INTERNATIONALES

- ✓ Laboratoire des Revêtements Fonctionnels et Ingénierie des Surfaces (LARFIS, Ecole Polytechnique de Montréal, Canada) – Jean-Michel Lamarre, Ludvik Martinu - Propriétés optiques linéaires et non-linéaires de nanocomposites métal-diélectrique anisotropes [1 Thèse, 2 ACL, 2 COM]
- ✓ Department of Optical Engineering (Zhejiang University, Hangzhou, China) – Jinlong Zhang, Xu Liu – Etude théorique des effets d'imagerie dans des empilements de couches minces métal-diélectrique [1 INV, 3 ACL]
- ✓ *Optical Coatings Group* (Advanced Physics Technologies Division, ENEA, Roma, Italy) – Anna Krasilnikova, Angela Piegari – Réalisation et caractérisation de filtres linéairement variables, notamment dans le cadre du

- programme ESA UCS (*Ultra Compact medium range Spectrometer for land application*) [1 ACTI, 1 COM]
- ✓ Institute for Gravitational Research (Department of Physics and Astronomy, University of Glasgow, Glasgow, Scotland) - Mariëlle van Veggel, Sheila Rowan, Jim Hough - Utilisation du *silicate bonding* pour le transfert de filtres allumette par procédé *lift-up* [1 COM]
 - ✓ Photoinduced Processing Lab (CREOL, University of Central Florida, USA) - Julien Lumeau, Leonid B. Glebov - Filtrage bande étroite [1 ACTI]

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

- Michel Lequime, co-chair de la Conférence Internationale *Advances in Optical Thin Films* (SPIE Europe, Optical Systems Design, Glasgow, 2-4 Septembre 2008)
- Michel Lequime, organisateur des Journées thématiques *Couches Minces Optiques* (Marseille, 30 novembre 2006 et 8 février 2008)
- Michel Lequime, co-organisateur du Mini-Colloque *Couches Minces Optiques* (SFO, Horizons de l'Optique, Lille, 9 Juillet 2009)

■ PRIX ET DISTINCTIONS

- Fabien Lemarchand, lauréat du *Design Problem* organisé par l'OSA dans le cadre de la Conférence Internationale *Optical Interference Coatings* (Tucson, 6 Juin 2007)

■ MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX

- Michel Lequime, membre du comité de rédaction de la Revue *Photoniques* (depuis décembre 2009)

■ ACTIVITES DE CONSULTANCE

- Michel Lequime, expertises technico-économiques réalisées pour le compte de l'OSEO Anvar Ile-de-France en décembre 2006 et février 2008
- Michel Lequime, expertise de dossier de demande de financement réalisée pour le compte du Conseil Général de l'Essonne en mai 2007

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

- Michel Lequime, Président du Conseil Stratégique du Pôle de Compétitivité OPTITEC (septembre 2006 à novembre 2008)
- Michel Lequime, membre du Conseil d'Administration de la Société Française d'Optique (SFO) et Secrétaire du Bureau de cette même Société (depuis Juillet 2009)

- Michel Lequime, membre du Conseil Scientifique du Pôle Optique Rhône-Alpes
- Michel Lequime, Président du Conseil Scientifique du GIS Photonique et Instrumentation Avancée, entité qui regroupe l'Institut FRESNEL, le Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques et le Laboratoire d'Astronomie Spatiale (de Janvier 2006 à Juin 2008)

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

Aucune HDR soutenue sur la période du quadriennal.

THESES

- **EN COURS**

3 doctorants en cours de thèse dans l'équipe

- **SOUTENUES**

5 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

BADOIL Bruno, Université Paul Cézanne, Français
 DE DENUS-BAILLARGEON Marie-Maude, Université de Montréal, Canadienne
 DUCHENE Marie, Université Paul Cézanne, Française
 GAO Lihong, Beijing Institute of Technology, Chinoise
 LAMARRE Jean-Michel, Ecole Polytechnique de Montréal, Canadien
 MICHEL Sébastien, Université Paul Cézanne, Français
 SORCE Stéphane, Université Paul Cézanne, Français
 ZHANG Jinlong, Université de Zhejiang, Chinois

- **DEVENIR DES DOCTORANTS**

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
B. BADOIL	Ingénieur	SAGEM Systèmes Optroniques et Optique (St-Etienne du Rouvray)
M. DUCHENE	Ingénieur	THALES Angénieux (Saint-Etienne)
JM. LAMARRE	Post-doc	Laboratoire des Revêtements Fonctionnels et Ingénierie des Surfaces de l'Ecole Polytechnique de Montréal
S. MICHEL	Ingénieur	BERTIN Technologies – Aix en Provence - France
J. ZHANG	Chercheur	Université de Tongji – Shanghai - Chine

AUTOEVALUATION DE RCMO

Positif		Négatif	
<i>Strengths (Forces)</i>		<i>Weaknesses (Faiblesses)</i>	
Origine interne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'équipe Couches Minces Optiques (RCMO) de l'Institut Fresnel bénéficie, dans sa thématique, d'une réputation établie d'excellence, tant au niveau national qu'international ▪ La thématique Couches Minces Optiques a, de manière générale, connu durant ces 15 dernières années une révolution technologique sans précédent, grâce notamment à l'utilisation systématique de procédés de dépôt énergétiques à très fort degré d'automatisation, qui ont ouvert la voie à la réalisation de fonctions de filtrage de plus en plus complexes (empilements de plusieurs centaines de couches, présentant des transmissions maximales dans la bande supérieures à 95% et des niveaux de réjection hors bande de densité optique excédant 5) ▪ L'équipe RCMO a su développer des outils de caractérisation métrologique adaptés aux exigences de ses développements technologiques : banc de mesure locale de la dépendance spectrale des coefficients de transmission et de réflexion d'un filtre interférentiel (résolution spatiale pouvant aller jusqu'à 2 μm), spectromètre associant diode laser accordable et lambdamètre à très haute résolution (0,05 pm) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'équipe RCMO rencontre d'importantes difficultés à attirer des étudiants en doctorat de haut niveau (le nombre de candidats est faible, en particulier parce que l'attraction des étudiants actuels pour des thématiques technologiques s'avère relativement réduite) ▪ Les bâtis de dépôt dont dispose aujourd'hui l'équipe sont pour la plupart de conception et de constitution relativement anciennes, ce qui rend leur maintenance complexe et onéreuse ▪ Les locaux qui abritent les moyens technologiques de l'équipe ne sont en adéquation, ni avec ses objectifs scientifiques, ni avec les exigences de ses partenaires académiques ou industriels ▪ Le très faible nombre de permanents temps plein au sein de cette équipe (2 à ce jour) soulève des problèmes constants de capitalisation des acquis et de continuité dans les développements en direction de tiers extérieurs 	
Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Opportunities (Opportunités)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le programme désigné sous l'appellation d'Espace Photonique, inscrit par l'Université Paul Cézanne au Contrat de Plan Etat-Région 2007-2013, constitue une opportunité réellement unique de placer l'équipe dans des conditions matérielles en adéquation avec ses objectifs scientifiques ▪ La possibilité de rejoindre à terme la Centrale technologique régionale CT-PACA devrait permettre à cette équipe de multiplier les collaborations, tant avec les autres composantes de cette centrale (NanoTechmat, CREHATec, Planet) qu'avec des utilisateurs ou partenaires extérieurs, qu'ils soient académiques ou industriels ▪ La présence au sein de l'Institut Fresnel d'une équipe de théoriciens (CLARTE) spécialisés dans la modélisation des cristaux photoniques et des métamatériaux doit permettre d'aborder dans les meilleures conditions le développement de composants associant au sein d'un seul et même objet, ces éléments nanostructurés et les couches minces optiques classiques, qu'elles soient purement diélectriques ou qu'elles associent diélectriques et métaux 	<p style="text-align: center;"><i>Threats (Menaces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le maintien à leur meilleur niveau de performances et de disponibilité des moyens nouveaux, équipements et locaux, qui vont être acquis et déployés dans le cadre du projet d'Espace Photonique, nécessitera des lignes budgétaires de fonctionnement importantes dont la dotation ne sera pas forcément évidente et immédiate ▪ Le déploiement des activités nouvelles prévues durant le prochain quadriennal et à l'échéance de celui-ci nécessitera absolument le renforcement en personnel de cette équipe au travers de postes permanents entièrement orientés recherche (poste d'Ingénieur de Recherche ou poste fléché de Chargé de Recherche) 	

PROJET RCMO

Pour l'équipe Couches Minces Optiques de l'Institut Fresnel, un des points forts de la période 2010-2014 sera à l'évidence constitué par la mise en service de l'Espace Photonique, plateforme technologique appelée à être implantée à proximité immédiate des bâtiments actuels de l'Institut Fresnel dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région 2007-2013, et qui permettra de localiser dans un ensemble de salles blanches adaptées aux exigences d'une activité de nano-fabrication comme la nôtre :

- les 4 bâtis d'évaporation dont nous disposons à l'heure actuelle et qui nous donnent d'ores et déjà accès à 4 procédés différents de dépôt (EBD - *Electron Beam Deposition*, IAD - *Ion Assisted Deposition*, RLVIP - *Reactive Low Voltage Ion Plating* et DIBS - *Dual Ion Beam Sputtering*)
- un nouveau bâti de dépôt dont les caractéristiques techniques détaillées sont actuellement en cours d'étude, mais dont on peut d'ores et déjà affirmer qu'il incorporera un sas sous vide de stockage des substrats avec automate de chargement, qu'il rendra possible le dépôt à haute vitesse de couches denses et spatialement uniformes de matériaux aussi bien diélectriques que métalliques et qu'il sera doté d'un système *in situ* de contrôle optique large bande de dernière génération (parmi l'ensemble des procédés envisageables, la pulvérisation magnétron multi-cibles nous semble aujourd'hui constituer une solution particulièrement attractive, car elle permet, en associant co-pulvérisation et choix de l'atmosphère réactive, d'accéder à une grande gamme d'indices synthétiques)
- des moyens de contrôle *ex situ* des substrats, avant traitement et des filtres, à achèvement de fabrication (spectrophotomètre large bande 175-3300 nm, système interférométrique de contrôle de rugosité et de forme)

En parallèle du déploiement de ces nouveaux moyens technologiques, et en s'appuyant bien évidemment sur leur disponibilité, les thématiques de recherche que l'équipe RCMO va explorer durant la période 2010-2014 vont concerner :

- La structuration spatiale à haute densité de fonctions de filtrage par procédés *lift-off* ou *lift-up* : la première application visée concerne la réalisation pour le CNES d'une mosaïque périodique de filtres passe-bande à 9 éléments adaptée à l'enregistrement hyperspectral de paysages planétaires par caméra CCD statique, mais il s'agit d'une thématique à très large domaine d'applications
- La détermination *a posteriori* (c'est-à-dire sur filtre achevé ou en cours de fabrication) des caractéristiques opto-géométriques (épaisseurs et indices de réfraction) des couches constitutives d'un empilement métal-diélectrique : il s'agit là d'un problème de *reverse engineering* particulièrement complexe si l'on garde présent à l'esprit la présence d'une absorption non négligeable et la dépendance des indices de réfraction des couches métalliques vis-à-vis de leur épaisseur, en particulier au voisinage du phénomène de percolation
- L'exploration systématique de nouveaux matériaux, aussi bien diélectriques ou métalliques qu'organiques, en collaboration avec des laboratoires de

caractérisation physico-chimique, et la mise au point des procédés de dépôt permettant d'obtenir, en couches minces, des propriétés optiques optimales

- La réalisation et la caractérisation ultra fine d'empilements métal-diélectrique périodiques à très faibles pertes, empilements dont le comportement optique serait susceptible de correspondre à celui de métamatériaux à indice de réfraction négatif (Collaboration avec l'équipe CLARTE)
- L'optimisation du design de cavités planaires multicouches de type OLED en termes de rendu colorimétrique ou d'efficacité d'extraction de l'énergie lumineuse, et la réalisation expérimentale de premiers démonstrateurs
- L'étude théorique et expérimentale des propriétés de déphasage à la réflexion des empilements multicouches, avec pour objectifs premiers la réalisation de miroirs large bande à faible dispersion de phase et la définition de systèmes de contrôle ex situ et in situ de cette information de phase
- Le prolongement de la coopération avec l'équipe MAP2 sur les études d'endommagement des empilements multicouches, en particulier en régime femtoseconde

Cette période 2010-2014 sera également celle durant laquelle il nous faudra commencer à définir les moyens lourds nous permettant d'accéder à terme à une structuration 3D complète de matériaux en couches minces, et dont on peut penser qu'ils comprendront :

- un dispositif de lithographie laser 3D, analogue à celui que commercialisé par la firme allemande NANOSCRIBE (<http://www.nanoscribe.de/en/home>), et qui permet d'inscrire dans des résines photosensibles ou des matériaux photoréfractifs (tels que des verres de chalcogénure) des motifs sub-longueur d'onde, puis de procéder à une réplique exacte ou inversée de ces motifs dans des matériaux optiquement plus attractifs, tels que la silice ou le silicium. Ceci ouvrirait en effet la voie à la réalisation de cristaux photoniques 2D, 2,5 D et surtout 3D, et rendrait possible leur insertion éventuelle à l'intérieur d'empilements couches minces plus classiques.
- une machine de nano-usinage et nano-inscription par laser femtoseconde, telle que celle développée par la société japonaise TOKYO Instruments (<http://www.tokyoinst.co.jp/english/products/flmns.html>) et qui permettrait de procéder à des retouches locales (échelle typique actuelle 100 à 200 nm) de forme ou d'indice des couches minces classiques ou des composants structurées réalisées par photolithographie laser.
- un bâti de dépôt de couches minces adapté à la recherche amont et permettant de mixer à l'intérieur d'un seul et même empilement des technologies de fabrication complètement différentes, structuration 3D incluse. Cette machine utiliserait une structure de type "cluster", associant une zone centrale sous vide équipée d'un robot de télémanipulation, des chambres dédiées aux différentes technologies et organisées en étoile autour de cette zone centrale, et une chambre dite de chargement, qui pourrait être employée pour insérer les substrats ou les prélever temporairement dans le but d'assurer leur structuration 3D ou l'insertion d'une couche structurée dans cet empilement.

BILAN SCIENTIFIQUE SEMO

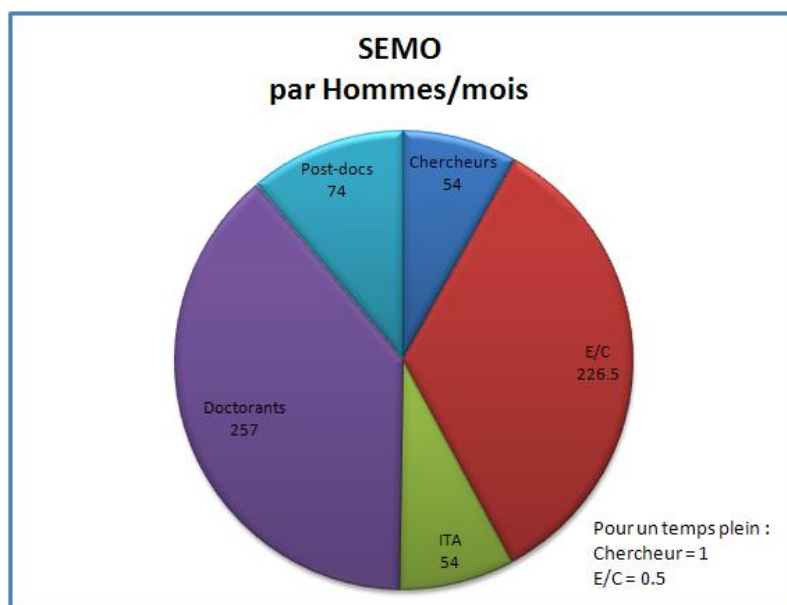
Responsable d'équipe : Anne SENTENAC

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
BELKEBIR Kamal	MCF	UP
CHAMARD Virginie	CR	CNRS (<i>arrivée mutation : 01.06.10</i>)
CHAUMET Patrick	MCF	UPCAM
EYRAUD Christelle	MCF	UPCAM (<i>arrivée : 01.09.08</i>)
GEFFRIN Jean-Michel	IR1	CNRS
GIOVANNINI Hugues	PR1	UPCAM
LITMAN Amélie	MCF	UP
MAIRE Guillaume	MCF	UPCAM (<i>arrivée : 01.09.07</i>)
SABOUROUX Pierre	MCF	UP
SENTENAC Anne	DR2	CNRS
SORIANO Gabriel	MCF	UPCAM
TORTEL Hervé	MCF	UP

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
ARHAB Slimane	Doctorant	2012
BA Doudou	Doctorant	2010
GIRARD Jules	Doctorant	2011
MOHAMED Malidé	Doctorant	2010
MUDRY Emeric	Doctorant	2012
RUAN Yi	Doctorant	2012
ZHANG Xiaoyun	Doctorante	2010



54 Homme/mois ETP de chercheurs + 226,5 Homme/mois ETP d'enseignant-chercheurs correspondent, sur la durée de 4,5 ans considérée pour l'évaluation, à 23,4 ETP recherche (ETPR), ce qui correspond à 5,2 ETPR par an en moyenne.

PRESENTATION GENERALE

Le cadre général des activités de SEMO est l'étude de l'interaction d'une onde électromagnétique avec des structures complexes et son application à l'imagerie quantitative par sondage électromagnétique. Le travail de l'équipe est à la fois théorique et expérimental. Il comporte une partie importante de modélisation et deux grands domaines d'applications : la microscopie optique - l'imagerie et l'instrumentation hyperfréquences.

RESULTATS MARQUANTS

■ **THEME 1 : MODELISATION DE L'INTERACTION ONDE-OBJET ET IMAGERIE**

Le principe général de l'imagerie digitale par sondage électromagnétique consiste à éclairer l'échantillon, à mesurer le champ diffracté, et à utiliser des algorithmes d'inversion pour reconstruire numériquement les paramètres d'intérêt de l'objet (comme par exemple la distribution de permittivité) à partir des données mesurées. Les algorithmes d'inversion sont donc un élément clé de cette technique et ils reposent sur une modélisation précise de l'interaction électromagnétique entre l'onde et l'objet.

- *Th1-1 : Simulation de l'interaction onde-objet*

L'équipe SEMO a une grande expertise dans le développement de méthodes numériques efficaces permettant de simuler la diffraction des ondes électromagnétiques par des structures complexes. Ces outils numériques servent de

base à nos techniques d'imagerie, mais ils sont aussi utilisés pour d'autres applications comme la modélisation des forces optiques. Au cours du quadriennal 2006-2010, nous avons renforcé notre panoplie d'outils numériques dévolus à deux grands types de problèmes, la diffraction par des objets inhomogènes dans des environnements complexes et la diffusion par des surfaces rugueuses.

Nous avons amélioré la méthode des dipôles couplés (ou méthode des moments 3D) afin de pouvoir simuler la diffraction d'une onde électromagnétique par des objets inhomogènes 3D (possiblement magnétiques et anisotropes) de grande taille ($150 \lambda^3$) [32], placés dans des structures multicouches ou des structures périodiques [431] et éclairés par une onde monochromatique ou une impulsion lumineuse [448]. Cet outil numérique présente des performances uniques au monde. Actuellement, il sert de base à toutes nos techniques d'imagerie tri-dimensionnelle. Il permet aussi de simuler les forces optiques s'exerçant sur les objets (en régime harmonique et transitoire) [406, 448] pour étudier des techniques d'auto-assemblage ou de manipulation sans contact des nano-objets (coll. Univ. Technologique de Sydney (UTS)).

Pour pouvoir simuler l'interaction onde/matière dans des situations où les fonctions de Green ne sont pas aisément exprimables, un code par éléments finis (FEM) pour des configurations 2D et 3D a été mis au point (voir la section suivante "Instrumentation hyperfréquences"). Citons en particulier son exploitation pour la modélisation de la réponse d'un diffracteur situé dans une cavité métallique remplie d'eau [442], sous une interface rugueuse [412], à l'interface entre deux milieux (coll. LSEET, UMR 6107 de l'INSU) ou dans une structure coaxiale guidée [thèse M. Mohamed].

Enfin, nous poursuivons notre activité de recherche sur la simulation de la diffusion par des surfaces rugueuses de grande étendue [425]. L'application visée est l'analyse de l'écho radar de surfaces océaniques [408] et la détermination de la statistique du champ diffusé par des surfaces fortement rugueuses ou multiéchelles [424]. Ce travail est effectué dans le cadre d'un contrat DGA en collaboration avec le LSEET. Les codes de calcul proposés dans ce cadre placent l'équipe au meilleur niveau international.

- *Th1-2 : Développement d'algorithmes d'inversion*

Les performances d'un système d'imagerie quantitative dépendent de la qualité des mesures, mais également des algorithmes d'inversion utilisés. En effet, contrairement à l'imagerie analogique (celle d'un microscope classique, par exemple), l'imagerie digitale peut tirer profit d'informations *a priori* sur l'objet et atteindre des performances accrues en termes de résolution ou en précision dans la détermination des paramètres électromagnétiques (distribution de la permittivité/perméabilité, forme). En contrepartie, les techniques d'inversion ne sont pas "génériques". Elles doivent être adaptées à la configuration particulière de l'expérience envisagée et au type d'objets observés. Au cours du quadriennal 2006-2010, nous avons développé

plusieurs algorithmes d'inversion adaptés à la microscopie optique et à l'imagerie micro-onde.

Dans le cadre de l'imagerie optique, nous avons considéré des configurations originales dans lesquelles l'objet est déposé sur un substrat particulier (dioptré, multicouche, réseau de diffraction) dont le rôle est de modifier les propriétés du champ incident [397, 407]. La mesure de la phase du champ diffracté étant difficile, nous étudions la possibilité d'obtenir des images quantitatives de la permittivité de l'objet à partir des intensités uniquement [419]. Enfin, nous avons introduit des informations *a priori* dans les algorithmes d'inversion, comme une permittivité bornée [429] ou une permittivité homogène par morceau. Ce dernier travail a nécessité d'utiliser un formalisme efficace par fonctions de niveau (level-set) [405].

Une autre étude a concerné l'imagerie d'objets placés sous une interface. Cette configuration se retrouve fréquemment dans le domaine des radiofréquences (pour la détection de mines, de défauts de structure, d'écoulements d'eau...). Elle présente deux difficultés majeures : d'une part certaines incidences ne sont pas accessibles car les émetteurs et les récepteurs sont nécessairement au-dessus de la surface à sonder, et d'autre part la présence d'hétérogénéités dans le milieu hôte conduit au brouillage de la signature de la cible. Pour améliorer la détection et la caractérisation de l'objet nous avons proposé d'exploiter la présence d'un pic de corrélation des champs diffractés au dessus de la position de l'objet [400, 401], d'inclure dans les algorithmes d'inversion une focalisation sélective sur l'objet le plus échogène [402, 416], ou de déterminer conjointement le profil de rugosité et la position de l'objet [412].

Fort des résultats obtenus par l'imbrication d'algorithmes d'inversion avec une simulation par FEM pour des systèmes d'imagerie 2D de plus en plus complexes [412, 442], nous avons mis en place plusieurs niveaux de raffinement selon les informations *a priori* disponibles. Tirant profit de la géométrie particulière du scanner circulaire micro-onde (voir la section "Instrumentation Hyperfréquences"), nous avons développé une méthode originale utilisant la projection des inconnues sur une base de polynômes de Zernike [441] éventuellement couplée au formalisme par fonctions de niveaux [452]. Ces informations *a priori* permettent d'améliorer de manière spectaculaire les images obtenues.

Il est important de noter que les outils de simulation du champ diffracté et les techniques d'inversion ont été en grande partie testées sur des données fournies par les dispositifs expérimentaux radiofréquences mis au point par l'équipe SEMO (voir la section "Instrumentation Hyperfréquences"). Une partie de ces résultats a été présentée dans un numéro spécial de la revue *Inverse Problems* en 2009 édité par un membre de l'équipe [443].

- *Th1-3 : Etude de la résolution d'un système d'imagerie*

Nous avons mené une étude fondamentale sur la notion de résolution dans un système d'imagerie quantitative. Lorsque le champ diffracté est relié linéairement à la carte de permittivité de l'objet (sous l'approximation de la diffusion simple), la

résolution est simplement donnée par la largeur à mi-hauteur de l'image d'un objet ponctuel. Cette analyse conduit à la fameuse limite de diffraction $\lambda/2$ des systèmes d'imagerie analogique comme les microscopes. Nous avons montré qu'en régime de diffusion multiple, la résolution des images pouvait être bien meilleure [395]. Une explication possible est que les hautes fréquences de l'objet sont capables de modifier le champ diffracté mesuré en champ lointain via le couplage des ondes évanescentes générées dans l'objet aux ondes propagatives par diffusion multiple. Pour mener cette étude dans un cadre plus théorique, nous avons utilisé la notion de borne de Cramér-Rao. Nous avons déterminé la résolution ultime d'un système d'imagerie en étudiant le lien entre le paramètre d'intérêt (par exemple la distance entre deux objets) et la mesure (le champ diffracté), en fonction de bruit expérimental [45, 46]. Cette approche très originale, qui est dérivée de la théorie de l'estimation, est conduite en collaboration avec l'équipe PhyTi de l'Institut Fresnel Elle est un premier pas vers une définition de la résolution d'un système d'imagerie non linéaire.

■ THEME 2 : MICROSCOPIE OPTIQUE

Notre travail sur le développement de nouveaux systèmes d'imagerie optique s'appuie évidemment sur l'activité de modélisation présentée précédemment. Il s'articule autour de trois axes : la microscopie tomographique de diffraction, l'imagerie de surface à très haute résolution et l'amélioration des performances des microscopes confocaux à fluorescence. Cette activité est à la fois théorique et expérimentale.

- *Th2-1 : Microscopie Tomographique de Diffraction (MTD)*

Le principe de la MTD consiste à enregistrer plusieurs hologrammes d'un même échantillon sous différentes incidences et à reconstruire numériquement la distribution de permittivité de l'objet à partir de cet ensemble d'hologrammes. Il s'agit formellement d'une transposition au domaine optique des techniques d'imagerie quantitative développées dans les domaines hyperfréquence ou acoustique. Relativement confidentielle en 2002, cette nouvelle technique de microscopie optique est étudiée par plus d'une quinzaine de groupes actuellement. En 2010, elle fait l'objet d'un numéro spécial dans la revue *Journal of Modern Optics* édité par deux membres de l'équipe et qui rassemble 13 contributions.

Au cours du quadriennal 2006-2010, nous avons mis au point un montage expérimental de MTD fonctionnant en réflexion. Nous avons montré expérimentalement que la MTD permet d'obtenir des images avec une résolution bien meilleure que celle donnée par un microscope à champ large de même ouverture numérique, tout en fournissant des informations quantitatives sur la permittivité de l'objet [444]. Ce résultat très prometteur remet en question un bon nombre d'idées reçues sur la limite de résolution des microscopes optiques et prouve l'intérêt de l'imagerie quantitative. Une première étape vers la valorisation industrielle a été franchie, en collaboration avec l'équipe MOSAIC, dans le cadre du projet FUI QUITO en partenariat avec la société Phasics avec le dépôt d'un brevet en 2009 sur ce sujet.

- *Th2-2 : Imagerie optique de surface à très haute résolution - Eclairage par ondes évanescentes*

Nous travaillons sur une technique d'imagerie de surface permettant d'obtenir une résolution comparable à celle des microscopes optiques à champ proche sans l'inconvénient de déplacer une sonde au voisinage de l'échantillon. L'idée principale consiste à déposer l'échantillon sur un substrat périodiquement nanostructuré (réseau de diffraction) qui transforme l'onde incidente en un champ structuré évanescent présentant de très hautes fréquences spatiales. Ces dernières permettent de sonder les détails les plus fins de l'objet. Des simulations ont montré qu'une résolution de l'ordre d'un dixième de longueur d'onde pouvait être obtenue avec des réseaux de période $\lambda/5$ réalisables avec les technologies actuelles. Cette idée a été utilisée pour trois applications différentes : l'imagerie d'objets non marqués, l'imagerie d'objets fluorescents et la genèse de spots lumineux sous la limite de diffraction [407, 422, 423]. La mise en œuvre expérimentale de ce concept a débuté en 2009. Elle est financée par une ANR Pnano portée par l'Institut Fresnel (projet SOURIS 2009-2012) et se fait en collaboration avec l'équipe MOSAIC de l'Institut Fresnel et le laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN) du CNRS.

- *Th2-3 : Amélioration de la résolution des microscopes confocaux à fluorescence*

Nous avons montré que la résolution latérale de microscopes pouvait être améliorée en introduisant un dispositif d'inversion d'image permettant de transformer virtuellement le point source à imager en deux points sources dont l'écartement dépend de la distance entre le point focal et le point source. Il a été montré théoriquement et expérimentalement que cette solution permet d'améliorer de 30% la résolution transverse d'un microscope confocal à balayage [41, 42]. Cette invention a fait l'objet d'un brevet CNRS déposé en 2006 [Brevet 2006], en collaboration avec l'équipe MOSAIC. Ce brevet a été racheté en 2010 par une société de microscopie et est actuellement exploité.

■ **THEME 3 : INSTRUMENTATION HYPERFREQUENCES, TRAITEMENT, EXPERIMENTATION**

Ce travail s'appuie sur la conception et l'exploitation d'outils d'instrumentation dans le domaine spectral des micro-ondes [0.3-40 GHz]. Les avancées que nous obtenons grâce à un couplage étroit entre études expérimentales et théoriques sont mises à contribution dans les quatre systèmes de mesure actuellement exploités.

- *Th3-1 : Mesures de diffraction en espace libre - Géométrie de mesure sphérique*

La grande chambre anéchoïque (14.5x6.5x6.5m), fonctionnant entre 500 MHz et 26.5 GHz, que nous pouvons utiliser 30% du temps, dispose d'une géométrie adaptée à de nombreuses configurations de mesures (surface équivalente radar, antennes, diffraction). Les mesures multistatiques de diffraction d'objets 2D sont déjà internationalement reconnues (deux sessions spéciales dans la revue "Inverse Problems" en 2001 et 2005). Ces travaux se sont poursuivis par l'étude de

phénomènes de diffraction conique [426] (coll. INTEC, Univ. Gand, Belgique). La mesure de champs diffractés par des objets 3D a demandé un développement expérimental important et une caractérisation des erreurs de mesures et de dérive [403, 420, 440]. La mise en place de cette métrologie fine a permis d'aboutir à un instrument performant et unique (à notre connaissance), permettant des mesures en amplitude et en phase, pour des configurations multistatiques variées et multifréquences.

Dans le projet SOOT (ANR 2006-2010) qui regroupe le LPPCA, le CRIA, le CETHIL et le LPLAM; SEMO intervenant pour les mesures de diffraction, nous nous sommes intéressés à mesurer et modéliser la diffraction par des particules de suies en utilisant le principe de translation d'échelle entre longueurs d'onde optique et micro-onde. Plusieurs agrégats contrôlés géométriquement ont été réalisés au CETHIL. Leurs champs diffractés ont été mesurés et comparés avec succès jusqu'à 20 GHz à de nombreux codes de modélisation (coll. CLARTE, CETHIL, Univ. d'Ankara en Turquie) [30, 445, 32, 437].

Les mesures de diffraction en milieu contrôlé sont également d'intérêt pour la communauté "Problèmes inverses". Un premier algorithme de diffraction inverse a été testé pour des objets 3D [413] donnant lieu par la suite à une nouvelle stratégie de régularisation [435] (coll. INTEC). Une troisième session spéciale a alors été publiée dans la revue "Inverse Problems" [439, 443]. 6 équipes y ont confronté leurs algorithmes d'inversion. Nous avons également proposé un algorithme spécifique, basé sur une formulation Bayésienne, mettant à profit le bruit de mesure quantifié lors de l'étape de métrologie [437] (coll. LPG, UMR 5109).

- Th3-2 : Mesures de diffraction en espace confiné - Scanner circulaire cylindrique

Ce scanner est composé d'un réseau fixe multiplexé d'antennes rayonnant dans l'eau à 434 MHz, placées dans un cylindre métallique pour s'affranchir des perturbations externes. Ce dispositif est exploité dans le projet CESAR (ANR JC 2006-2010), porté par SEMO, en collaboration avec l'EMMAH de l'INRA d'Avignon, l'INTEC et le CEREGE. Notre but est de valider une approche non-destructive d'imagerie microonde pour caractériser l'écoulement de l'eau, en exploitant les relations qui existent entre la permittivité et la teneur en eau du sol. Grâce à ce système original et aux algorithmes d'inversion novateurs basés sur une modélisation FEM, nous avons démontré par simulation que ce type de système permet de remonter aux paramètres intrinsèques d'une colonne de sol. Expérimentalement, nous avons reconstruit des cartes quantitatives de permittivités complexes de divers fantômes [442, 452]. Une modélisation multiphysique simulant la diffusion de l'eau et la propagation des ondes a également été entreprise (coll. EMMAH). Plusieurs scénarios de reconstructions de l'évolution du processus de diffusion dans le temps ont été menés à l'aide de méthodes rapides qualitatives (DORT, LSM ou MUSIC).

Le trop faible rapport signal à bruit du dispositif actuel nous amène à concevoir un nouveau système de mesure. En étudiant théoriquement l'influence de la distance entre la paroi métallique et les antennes, nous avons réussi à définir des règles de design optimal pour ce nouveau système [434] (coll. IREA-CNR, Italie).

- **Th3-3 : Mesures hyperfréquences en espace libre - Géométrie de mesure plane**

Grâce à un montage financier multipartenaire (Mairie, Département, Région, Universités, CNRS), la construction d'une chambre anéchoïque (3x3x3m) a été finalisée à l'été 2008. Elle permet le déplacement des antennes dans un plan horizontal (contrôle de l'humidité du proche sous-sol, détection d'objets enfouis, ...). La chaîne de mesure a été validée en comparant des mesures d'antennes effectuées dans nos deux chambres anéchoïques [455] (coll. IETR-INSA, Rennes). Pour aborder les mesures en réflexion (les antennes se déplaçant au-dessus de la zone sondée), une première étude a été menée dans une configuration similaire (coll. INTEC), aboutissant à un procédé de calibration original et une technique de localisation d'une inclusion dans une plaque de béton [447].

- **Th3-4 : Détermination de caractéristiques électromagnétiques complexes de matériaux**

EpsiMu est une cellule coaxiale de mesure des caractéristiques électromagnétiques des matériaux entre 300MHz et 18GHz (enveloppe Soleau en 2004 et 2009). Après avoir développé cette technique pour les matériaux classiques entrant dans la constitution des cibles étudiées en diffraction, elle a été étendue [thèse D. Ba] aux matériaux pulvérulents (argiles), granulaires (sables) pour le projet ANR CESAR, aux liquides (éthanol), gels (gels d'Agar) (coll. CEA/IRFU), ou encore aux matériaux de construction (ciments et produits dérivés) (coll. LCPC de Paris).

CONCLUSION

Par rapport au quadriennal précédent, les activités de l'équipe SEMO se sont fortement développées. Ceci est attesté par une augmentation d'environ 50% du nombre de publications, par une reconnaissance internationale accrue des chercheurs (organisation de sessions spéciales, conférences invitées), par l'obtention d'un projet ANR Pnano en optique et d'un projet ANR Jeunes Chercheurs en hyperfréquence; portés par des membres de l'équipe et par la participation à plusieurs ANR et contrats avec de nombreux partenaires. Parmi les faits marquants de l'équipe on peut mentionner le démarrage d'une activité expérimentale dans le domaine de la microscopie optique avec des développements qui vont des aspects fondamentaux à la valorisation industrielle, la mise au point d'outils numériques très performants pour la modélisation de l'interaction onde-objet et pour la résolution du problème inverse, et une activité importante en instrumentation hyperfréquences avec l'élaboration de nouvelles configurations expérimentales.

La montée en puissance des activités qui s'appuient sur l'instrumentation hyperfréquence et l'essor du travail expérimental en imagerie optique ont conduit les membres de l'équipe à proposer en septembre 2008 la création d'un groupe centré sur l'instrumentation micro-onde pour améliorer la visibilité des thématiques. Après une évaluation (dont le processus est décrit dans la partie A "Bilan général de l'unité") basée sur des critères liés à la spécificité des activités menées, à l'envergure scientifique des sujets de recherche, à leurs perspectives, à l'autonomie financière et

au nombre de permanents, il a été décidé de créer l'équipe HIPE (Hyperfréquences Instrumentation Processing Expérimentation). Les projets des équipes HIPE (composée de cinq anciens membres de l'équipe SEMO) et SEMO ainsi qu'un bilan quantitatif de leurs activités sont présentés plus loin dans ce document.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

■ PUBLICATIONS

En bref :

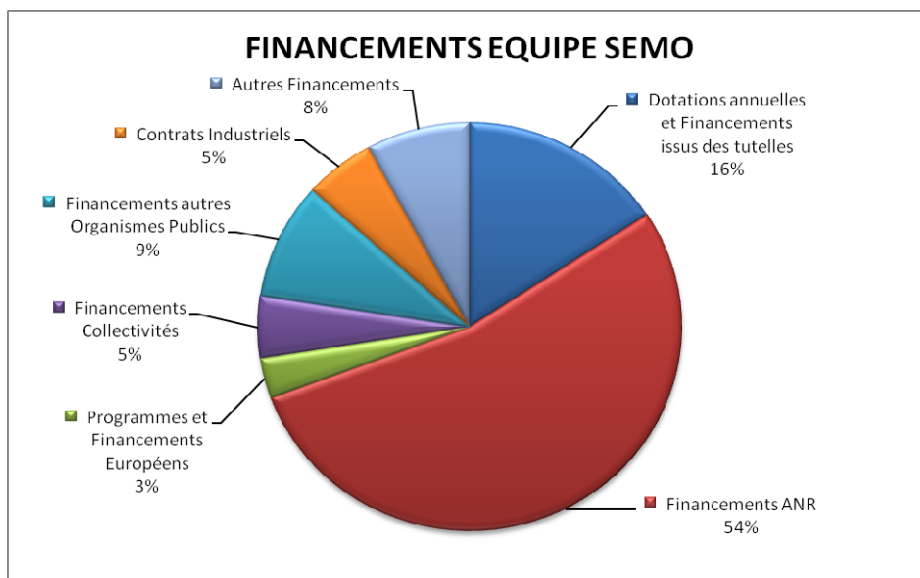
ACL (<i>Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture</i>)	80
INV (<i>Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation</i>)	11
ACTI (<i>Communications avec actes dans un congrès international</i>)	30
ACTN (<i>Communications avec actes dans un congrès national</i>)	11
COM (<i>Communications orales sans actes dans un congrès international ou national</i>) ...	22
AFF (<i>Communications par affiche dans un congrès international ou national</i>).....	5
OS (<i>Ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)</i>)	2
DO (<i>Directions d'ouvrages ou de revues</i>)	1
AP (<i>Autres productions</i>)	4
Brevets	4

■ TRANSFERTS DE TECHNOLOGIE, CREATION D'ENTREPRISES

1 Brevet CNRS sur la microscopie confocale vendu à une entreprise privée et exploité

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS EQUIPE SEMO	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	147 904.22 €
Financements ANR	503 098.60 €
Programmes et Financements Européens	30 000.00 €
Financements Collectivités	45 868.72 €
Financements Autres Organismes Publics	86 739.50 €
Contrats Industriels	50 869.48 €
Autres Financements	74 050.34 €
TOTAL	938 530.86 €



Bilan financier détaillé de l'équipe SEMO

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Dotations annuelles et financements issus des tutelles	2006		DOTATION UPCAM 2006	UPCAM	01/01/2006	31/12/2006		13 633.69 €	UPCAM
	2006		DOTATION CNRS 2006	CNRS	01/01/2006	31/12/2006	15 797.08 €	18 893.31 €	CNRS
	2006		DOTATION UP 2006	UP	01/01/2006	31/12/2006		3 397.42 €	UP
	2007		DOTATION UPCAM 2007	UPCAM	01/01/2007	31/12/2007		14 238.00 €	UPCAM
	2007		DOTATION CNRS 2007	CNRS	01/01/2007	31/12/2007	14 238.00 €	17 028.65 €	CNRS
	2008		DOTATION CNRS 2008	CNRS	01/01/2008	31/12/2008	14 145.16 €	16 917.61 €	CNRS
	2008		DOTATION UP 2008	UP	01/01/2008	31/12/2008		1 758.96 €	UP
	2009		DOTATION CNRS 2009	CNRS	01/01/2009	31/12/2009	13 530.17 €	16 182.08 €	CNRS
	2009		DOTATION ECM 2009	ECM	01/01/2009	31/12/2009		9 732.36 €	ECM
	2009	MAIRE Guillaume	Financement installation jeunes chercheurs	BQR UPCAM	01/06/2009	31/12/2009		2 000.00 €	UPCAM
	2009	SABOUROUX Pierre	Approche à l'aide d'une analogie micro-onde de propriétés optiques d'agrégats modèle de poussières des disques protoplanétaires	PID OPV	17/02/2009	31/12/2009	15 000.00 €	17 940.00 €	CNRS
2010		DOTATION CNRS 2010	CNRS	01/01/2010	31/12/2010	13 530.22 €	16 182.14 €	CNRS	
TOTAL TTC DOTATIONS ANNUELLES ET FINANCEMENTS ISSUS DES TUTELLES								147 904.22 €	
Financements ANR	2006	SENTENAC Anne	Filtres Optiques à Réseaux Accordables	ANR	10/02/2006	31/12/2008	31 060.00 €	37 147.76 €	UPCAM
	2006	LITMAN Amélie	Contrôle radiofréquence de l'écoulement de l'eau dans le sol et de l'absorption racinaire	ANR	06/11/2006	05/05/2010	112 410.00 €	134 442.36 €	CNRS
	2006	CHAUMET Patrick	Réseaux de nanosondes optoélectrochimiques : applications à la nano-imagerie et à la nano-manipulation en chimie bioanalytique	ANR	10/05/2006	09/05/2009	9 901.00 €	11 841.60 €	CNRS
	2009	SENTENAC Anne	Sonde Optique Ultra-Résolue pour l'imagerie de Surface	ANR	19/02/2009	18/02/2012	267 280.00 €	319 666.88 €	CNRS
TOTAL TTC FINANCEMENTS ANR								503 098.60 €	
Programmes et financements européens	2004	SABOUROUX Pierre	« Dispositifs expérimentaux pour la télédétection, les télécommunications et la diffraction inverse ».	FEDER	11/06/2004	10/06/2009	25 083.61 €	30 000.00 €	UP
TOTAL TTC PROGRAMMES ET FINANCEMENTS EUROPEENS								30 000.00 €	
Financements collectivités	2003	SENTENAC Anne	Acquisition équipement pour le projet "imagerie optique à haute résolution"	CONSEIL REGIONAL PACA	27/06/2003	27/06/2008	7 955.20 €	9 514.45 €	UPCAM
	2004	SABOUROUX Pierre	« Dispositifs expérimentaux pour la télédétection, les télécommunications et la diffraction inverse ».	CONSEIL GENERAL BDR	01/09/2004	01/09/2006	24 125.64 €	28 854.27 €	UP
	2004	SABOUROUX Pierre	« Dispositifs expérimentaux pour la télédétection, les télécommunications et la diffraction inverse ».	VILLE DE MARSEILLE	10/05/2004	09/05/2006	6 270.91 €	7 500.00 €	UP
TOTAL TTC FINANCEMENTS COLLECTIVITES								45 868.72 €	
Financements autres organismes publics	2007	GUERIN Charles-Antoine	Développement d'un code rapide permettant un calcul paramétré de la matrice de Jones et de Mueller en réflexion d'un milieu hétérogène rugueux, de type revêtement et peintures	ONERA	01/01/2007	31/12/2007	19 691.66 €	23 551.23 €	CNRS
	2009	SORIANO Gabriel	Génération de surfaces pseudo régulières ou aléatoires	DGA	18/05/2009	17/05/2012	52 833.00 €	63 188.27 €	UPCAM
TOTAL TTC FINANCEMENTS AUTRES ORGANISMES PUBLICS								86 739.50 €	
Contrats Industriels	2003	GIOVANNINI Hugues	"Imagerie optique active à synthèse d'ouverture" Juien TASTE	CIFRE THALES	03/11/2003	03/11/2006	2 090.00 €	2 499.64 €	CNRS
	2006	GUERIN Charles-Antoine SORIANO Gabriel	Générateur de coefficients bistatiques de mer (GOSSA anisotrope)	CRIL	07/06/2006	31/12/2007	33 441.80 €	39 996.39 €	CNRS
	2007	SABOUROUX Pierre	Etude influence sur SER tête de périscope	ACHATS SERVICE	07/03/2007	31/12/2007	4 100.00 €	803.60 €	UP
	2008	SABOUROUX Pierre	Commande Kit Epsimu	ANRITSU	05/06/2008	04/06/2009	5 000.00 €	5 980.00 €	UP
	2008	SABOUROUX Pierre	Participation frais Séminaire	ROHDE &SCHWARZ France	26/08/2008	31/12/2008	1 329.30 €	1 589.84 €	UP
TOTAL TTC CONTRATS INDUSTRIELS								50 869.48 €	

	Année	Nom du responsable scientifique	Titre/mot-clés du contrat	Financier	Date début du contrat	Date de fin	Montant HT	Montant TTC	Partenaire gestionnaire
Autres financements	2007	LITMAN Amélie	Mathematical modeling of mixing and dispersion effects in the shallow waters of the coastal zone	INTAS	09/01/2007	08/07/2008	7 500.00 €	8 970.00 €	CNRS
	2010	LITMAN Amélie	Modélisation et imagerie magnétique	CEA SACLAY	01/04/2010	01/04/2011	28 415.00 €	33 984.34 €	CNRS
	2010	GEFFRIN Jean-Michel	Mesure et pré-traitements des champs diffractés et par des maquettes simulant des troncs ou des rabres montés sur une plaque métallique	SUPELEC	01/04/2010	01/04/2011	12 000.00 €	14 352.00 €	CNRS
	2010	SABOUROUX Pierre	Moyen de mesure des caractéristiques ISEULT ANTENNE RF	CEA SACLAY	12/03/2010	12/03/2011	14 000.00 €	16 744.00 €	UP
TOTAL TTC AUTRES FINANCEMENTS								74 050.34 €	
TOTAL FINANCEMENTS EQUIPE SEMO								938 530.84 €	

COLLABORATIONS

■ NATIONALES

M. Saillard, C. A. Guérin, LSEET UMR 6017
F. De Fornel, Institut Carnot de Bourgogne UMR 5209
A. Talneau, LPN UPR 20
Equipe de Françoise Lozes, LAAS UPR 8001
O. Haeberlé, Laboratoire MIPS (Mulhouse)
R. Vaillon, CETHIL Lyon
S. Ruy, C. Doussan, L. Di Pietro, EMMAH / INRA Avignon
G. Saracco, CEREGE Marseille
A. Dubois, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
M. Luong; A. France, IRFU / CEA
F. Menard, LAOG UMR 5571
A. Hérique, W. Kofman, LPG Grenoble

■ INTERNATIONALES

Dans le cadre du projet MERLION :
C. Sheppard, Université de Singapour (Singapour)

Dans le cadre d'un projet INTAS Sud Caucase :
A. Hasanov, Université de Kocaeli (Turquie)
K. Ayda-Zade, Cybernetics Institute (Azerbaïdjan)
L. Huliannytskyi, Institute of Cybernetics (Ukraine)
A. Handzel, North Caucasus State Technical University (Russie)

M. Holschneider, Université Postdam (Allemagne) – Professeur invité
L. Crocco, IREA CNR, Naples (Italie) – Professeur invité
R. Heintzmann, King's College, Londres (UK) – Professeur invité
A. Rhamani, UTC Sydney (Australie)
A. Franchois, INTEC, Université de Gand (Belgique)
T. Isernia, DIMET, Université de Reggio Calabria (Italie)

RAYONNEMENT

■ ORGANISATION DE CONFERENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

- Une session organisée à la conférence internationale IGARSS en 2008 portant sur "Near Sub-Surface Electromagnetic Imaging: Methods and Applications" (coll. A. Litman/L. Crocco, IREA CNR, Italie)

- Une session organisée à la conférence internationale IPMS en 2008 portant sur les "Level-set Methods" (coll. A. Litman/ T. Mannseth de l'Université de Bergen, Norvège)
- A. Sentenac : Membre du comité d'organisation de Journées d'Imagerie Optiques Non Conventionnelles

■ PRIX ET DISTINCTIONS

- 1 article Spot-light de l'OSA (2009)
- 3 articles apparaissant en tant que "Featured articles" dans "Inverse Problems" en 2009 (A. Litman/J.-M. Geffrin/P. Sabouroux)
- 1 article apparaissant comme "Most cited for the last two years" (2008-2009) dans "Inverse Problems" (J.-M. Geffrin/P. Sabouroux)
- 1 article dans les faits marquants du CNRS (2008)

■ MEMBRES DE COMITES EDITORIAUX

- Editeurs associés du Journal of Modern Optics pour la session spéciale "Digital Optical Microscopy" (2010) (A. Sentenac et K. Belkebir)
- Editeur d'une session spéciale dans la revue "Inverse Problems" (2009) (A. Litman)

ACTIVITES D'INTERET COLLECTIF

- Directeur de l'Institut Fresnel 2008-2012 (H. Giovannini)
- Directeur Adjoint de l'Institut Fresnel 2006-2008 (H. Giovannini)
- Responsable du Master Erasmus Mundus Europhotonics (H. Giovannini)
- Membre du Conseil de l'UFR Physique et Sciences de la Matière de l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3 (H. Giovannini)
- Membre du Conseil d'Administration du Pôle de Compétitivité OPTITEC (H. Giovannini)
- Membre du Comité de Direction du GIS PIA "Photonique et Instrumentation Avancée" (H. Giovannini)
- General Chair du Workshop on Entrepreneurship and Business Innovation in PhD Education - EOS Annual meeting (2010) (H. Giovannini)
- Président du comité de visite de l'ONERA DOTA Toulouse en 2008 et Châtillon en 2010 (H. Giovannini)
- Participation aux comités d'évaluation AERES du LETI (2010), du laboratoire MIPS (2008) (H. Giovannini)
- Mise à disposition de plusieurs logiciels scientifiques sous licence GNU (P. Chaumet)
- Responsable de la licence professionnelle MTB IUT de Marseille (P. Chaumet)
- Expertise de projets scientifiques de la région Rhône-Alpes et ANR Pnano (A. Sentenac)

- Commissions de Spécialistes (63^{ème} section, 30^{ème} section) dans les Universités de Provence et d'Aix-Marseille III jusqu'en 2008 (P. Sabouroux, A.Litman, A. Sentenac, H. Giovannini, P. Chaumet, H. Tortel). P. Sabouroux était vice président Collège .B (63^{ème} section) à l'université de Provence jusqu'en 2008.
- Participations à des comités de sélection en 2009 et 2010 à l'Université de Provence et à l'Université d'Aix-Marseille III (A. Sentenac, H. Giovannini, P. Sabouroux, H. Tortel, A. Litman)
- Comité de sélection en 2009 à l'Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse (H. Tortel)
- Membre élu en 2008 au Conseil de Département Microélectronique et Télécom. de Polytech Marseille (P. Sabouroux)
- Membre nommé en 2008 au Conseil de Département Mécanique Energétique de Polytech Marseille (P. Sabouroux)
- Correspondant Qualité au Département Microélectronique et Télécom. de Polytech Marseille depuis 2008 (P. Sabouroux)
- Co-Responsable Recrutement au Département Microélectronique et Télécom de Polytech Marseille depuis 2009 (H. Tortel)
- Responsable Stages au Département Microélectronique et Télécom de Polytech Marseille depuis 2009 (P. Sabouroux)
- Vice-président de l'association Centre Commun de Ressources en Micro-ondes (CCRM – loi 1901) (P. Sabouroux)
- Représentant depuis 2006, du Président de l'Université de Provence au Comité Exécutif de VALORPACA (structure de mutualisation des moyens de valorisation des 6 universités de la Région PACA) (P. Sabouroux)
- ACOMO à l'Institut Fresnel jusqu'en 2008 (J.-M. Geffrin)
- Membres élus Collège B au Conseil de Laboratoire de l'Institut Fresnel : H. Tortel (jusqu'en 2008), K. Belkebir (à partir de 2008)
- Membre élu ITA/IATOSS au Conseil de Laboratoire de l'Institut Fresnel jusqu'en 2008 (J.-M. Geffrin)

HABILITATIONS A DIRIGER DES RECHERCHES

- **PATRICK CHAUMET** : Juillet 2007 : "*Forces optiques et sondage électromagnétique*".
- **AMELIE LITMAN** : Novembre 2009 : "*Techniques d'inversion pour la diagraphie différée et l'imagerie électromagnétique*"
- **PIERRE SABOUROUX** : Septembre 2006 : "*Résolution de problèmes directs et inverses en électromagnétisme. Approche expérimentale*"

THESES

- **EN COURS**

7 doctorants en cours de thèse dans l'équipe

- **SOUTENUES**

8 thèses soutenues dans l'équipe entre 2006 et 2010.

- **ORIGINE (UNIVERSITE, NATIONALITE) DES DOCTORANTS**

La provenance des doctorants de l'équipe SEMO au cours de ce quadriennal aura été : 2 Master OPSI, 1 Master Rayonnement et Plasma, 1 étudiant Normalien, 1 étudiant de l'Ecole Centrale Paris, 1 Master UTT Troyes, 3 étudiants chinois, 1 ingénieur ISEN Toulon, 1 Master Minelec, 1 étudiant de l'X, 1 ingénieur ENSEIHT Toulouse. Les nationalités étant : 3 Chinois, 1 Sénégalais, 1 Tchèque, 10 Français.

- **DEVENIR DES DOCTORANTS**

<u>Nom</u>	<u>Fonction</u>	<u>Entreprise</u>
F. DRSEK	Ingénieur	Provident Financial - République Tchèque
C. EYRAUD	MCF	UPCAM - Institut Fresnel - Marseille - France
R. LENCREROT	Ingénieur	TOTAL - Pau - France
P. MALLET	Ingénieur	DCN - Paris - France
F. NOUGUIER	Post-doc	Université de Toulon - France
P. SPIGA	Ingénieur	PELLENC-ST - France
J. TASTE	Ingénieur	ATMEL - Rousset - France
S. VERGERIO	Ingénieur	EDF - Clamart - France

AUTOEVALUATION DE SEMO

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Strengths (Forces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'équipe regroupe toute la chaîne de compétences nécessaires pour faire de l'imagerie quantitative : modélisation, inversion, expérience. ▪ Les membres de l'équipe SEMO ont des cultures très différentes (microscopie optique de champ proche, télédétection océanique, imagerie micro-onde, imagerie X, composants optiques) qui leur permettent d'aborder de manière originale des problèmes de physique dans différents domaines. ▪ Reconnaissance internationale dans le domaine de la modélisation rigoureuse de l'interaction onde-objet et dans la mesure de diffraction de cibles complexes en environnement contrôlé. ▪ Collaboration avec plusieurs laboratoires multidisciplinaires ▪ Travail est à la fois fondamental et appliqué. 	Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Weaknesses (Faiblesses)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manque d'un chercheur à plein temps sur l'activité expérimentale émergente sur la microscopie optique quantitative. ▪ Difficulté à recruter des doctorants dans les formations de master du périmètre marseillais (aucun membre de l'équipe SEMO n'enseigne à l'Ecole Centrale Marseille). ▪ Cinq membres de l'équipe enseignent soit à l'IUT, soit à Polytech Marseille où la charge d'enseignement et de tâches administratives est très lourde. Par ailleurs un membre de l'équipe a été directeur adjoint puis directeur du laboratoire pendant tout le quadriennal. ▪ Vétusté du matériel de mesure de la grande chambre anéchoïque. ▪ Difficulté à valoriser les activités micro-ondes dans un environnement très centré sur la photonique.
Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Opportunities (Opportunités)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'avance de l'équipe en imagerie optique quantitative peut et doit maintenant s'accompagner de réalisations expérimentales marquantes. ▪ Notre activité théorique et expérimentale sera bientôt suffisamment avancée pour pouvoir envisager des applications pratiques et des partenariats industriels. ▪ Ouverture vers l'imagerie X cohérente. ▪ La création d'une équipe centrée sur l'instrumentation micro-ondes permettra de donner à cette activité toute sa visibilité (création de l'équipe HIPE proposée pour le prochain quadriennal). 	Origine Externe	<p style="text-align: center;"><i>Threats (Menaces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Une des principales difficultés sera d'obtenir de bonnes conditions pour poursuivre et étendre le développement de l'activité expérimentale de l'équipe (financements accrus, locaux adaptés et recrutements). ▪ Gestion des carrières.

Les projets des équipes HIPE et SEMO sont présentés séparément dans la suite du document. Ces projets sont précédés d'un bilan résumé des activités des membres de chacune des équipes depuis janvier 2006.

PROJET SEMO

BILAN QUANTITATIF DE SEMO A PARTIR DE 2008

Responsable d'équipe : Anne SENTENAC

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
BELKEBIR Kamal	MCF	UP
CHAMARD Virginie	CR2	CNRS (arrivée mutation : 01.06.10)
CHAUMET Patrick	MCF	UPCAM
GIOVANNINI Hugues	PR1	UPCAM
MAIRE Guillaume	MCF	UPCAM
SENTENAC Anne	DR2	CNRS
SORIANO Gabriel	MCF	UPCAM

Personnels non permanents

NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
ARHAB Slimane	Doctorant	2012
GIRARD Jules	Doctorant	2011
MUDRY Emeric	Doctorant	2012
RUAN Yi	Doctorant	2012

■ APPRECIATION SUR LA QUALITE SCIENTIFIQUE ET LA PRODUCTION

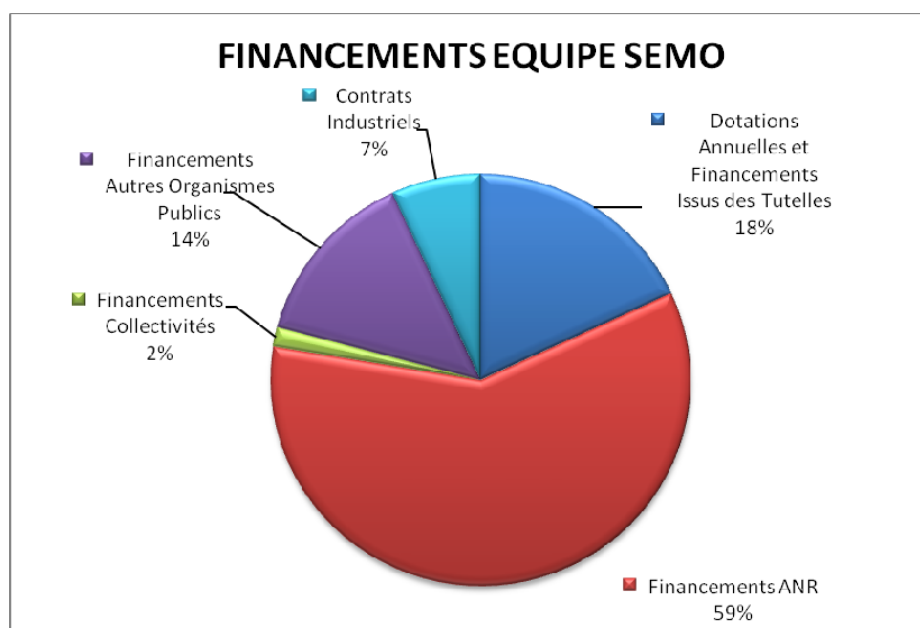
- 61 Publications dans des revues de rang A (ACL)
- 10 conférences invitées dans des congrès internationaux
- 4 Brevets dont 1 exploité
- 6 Thèses soutenues
- 4 Thèses en cours

- 1 HDR soutenues
- Edition : A. Sentenac et K. Belkebir : éditeurs associés du Journal of Modern Optics pour la session spéciale "Digital Optical Microscopy" (2010)
- 1 article Spot-light de l'OSA (2009)
- 3 ANR

RECETTES

Concernant les recettes, pour des raisons de simplicité, la période considérée est celle de janvier 2006 à juin 2010.

RECAPITULATIF FINANCEMENTS OBTENUS PAR LES MEMBRES DE L'EQUIPE SEMO (Membres de l'équipe HIPE exclus)	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	112 007.34 €
Financements ANR	368 656.24 €
Financements Collectivités	9 514.45 €
Financements Autres Organismes Publics	86 739.50 €
Contrats Industriels	42 496.03 €
TOTAL	619 413.56 €



Le projet de recherche de l'équipe SEMO s'articule autour du développement de nouvelles méthodes d'imagerie s'appuyant sur une modélisation fine de l'interaction onde-objet. Son originalité consiste à considérer de manière unifiée des techniques d'imagerie très diverses, allant des rayons X aux micro-ondes en passant par l'optique, afin d'exploiter au mieux les avancées propres à chaque domaine d'application.

Le projet de l'équipe bénéficie de l'émergence deux nouvelles activités, venant renforcer la polyvalence et le savoir-faire de l'équipe, l'étude de systèmes d'imagerie cohérente en rayons X et l'analyse des techniques d'imagerie multifréquence ou impulsionnelle. Il est structuré autour de quatre grands thèmes centrés sur des outils performants de modélisation et/ou sur une mise en œuvre expérimentale, l'imagerie optique quantitative (ANR Souris 2009-2012), l'imagerie X (ANR JC Strain 2009-2012), l'imagerie et la caractérisation de surfaces rugueuses (ANR Simode 2010-2013 et REI DGA GENESUPRA 2009-2012) et l'imagerie et forces optiques en régime transitoire.

IMAGERIE OPTIQUE QUANTITATIVE

L'activité de l'équipe SEMO en imagerie optique quantitative est entrée dans une phase très stimulante avec l'arrivée des premiers résultats expérimentaux probants [Maire_PRL_09]. L'objectif principal du quadriennal 2010-2014 est de poursuivre la mise en œuvre expérimentale des systèmes d'imagerie proposés théoriquement afin de mettre en évidence leurs performances et aborder des applications concrètes. Plusieurs expériences de microscopie tomographique de diffraction et de microscopie de fluorescence à éclairage structuré sont actuellement en cours de développement. Trois doctorants et un post-doctorant participent à ce travail.

■ **THEME 1 : IMAGERIE QUANTITATIVE TRI-DIMENSIONNELLE**

Une de nos ambitions est de démontrer l'intérêt de la microscopie tomographique de diffraction pour des applications porteuses, soit en biologie, soit dans le domaine de la nanofabrication. Cela nécessite de modifier notre montage et nos algorithmes d'inversion pour pouvoir imager des objets tri-dimensionnels faiblement diffractants en un temps relativement court. Nous étudions en particulier une technique de mesure de phase ne nécessitant pas de montage interférométrique. A plus long terme, nous envisageons d'étendre notre système à l'infra-rouge proche pour pouvoir imager dans le volume des composants issus de la micro-électronique. Ce travail est fait en collaboration avec les équipes Phyti et MOSAIC.

■ **THEME 2 : IMAGERIE A TRES HAUTE RESOLUTION**

Le fil rouge des activités de l'équipe SEMO sur l'imagerie optique est l'amélioration de la résolution des systèmes de microscopie en champ lointain. Notre objectif est de montrer expérimentalement qu'il est possible d'obtenir une résolution bien

meilleure que celle dictée par le critère de Rayleigh en tirant profit du phénomène de diffusion multiple et/ou en modifiant l'éclairement de l'échantillon à l'aide de substrats particuliers.

Nous travaillons actuellement sur un système d'imagerie où l'échantillon est déposé sur une lamelle de verre et éclairé par une onde évanescente via un objectif à immersion en réflexion totale. Pour augmenter encore la capacité du champ incident à sonder les détails les plus fins de l'objet, la lamelle peut être remplacée par un réseau sub-longueur d'onde optimisé pour générer des champs de très hautes fréquences spatiales [407, 446]. Un microscope adapté à des échantillons non marqués et un microscope dédié à des objets fluorescents sont en cours de réalisation.

Parallèlement nous étudions une idée prometteuse pour améliorer la résolution des microscopes selon l'axe optique [454]. Il s'agit de déposer l'échantillon au voisinage d'un miroir et d'exploiter les vues de l'objet obtenues par réflexion.

La mise en œuvre expérimentale de ces différentes techniques d'imagerie est faite en collaboration avec l'équipe MOSAIC (pour la microscopie de fluorescence), avec l'équipe Phyti (pour l'analyse des images et leur traitement) avec l'université de Bourgogne (pour obtenir des comparaisons en microscopie optique de champ proche) et le CIML pour obtenir des échantillons biologiques.

IMAGERIE SANS LENTILLE DANS LE DOMAINE DES RAYONS X

A partir de 2010, nous accueillons dans l'équipe SEMO une jeune chercheuse spécialiste de l'imagerie X sans lentille. Les problématiques en imagerie X cohérente sont très proches de celles rencontrées en imagerie optique ou micro-onde. Ainsi, les mêmes modèles de diffusion simple (basés sur l'approximation de Born) sont utilisés pour simuler l'interaction onde-matière et les techniques de tomographie sont similaires conceptuellement. En revanche, l'acquisition de données expérimentales en synchrotron reste extrêmement délicate (même si des progrès majeurs sont à espérer dans les années qui viennent) alors que l'illustration expérimentale de ces concepts peut être obtenue rapidement et à bas coût dans le domaine optique. C'est en s'appuyant sur ces similitudes et complémentarités que nous proposons de développer une imagerie sans lentille aux rayons X au sein du groupe SEMO de l'Institut Fresnel.

Nous comptons utiliser notre savoir-faire en algorithmes d'inversion et en simulation du problème direct pour améliorer et développer des méthodes d'imagerie sans lentille, telle que l'holographie X et la ptychographie X. Une expérimentation de principe (en optique) permettra de tester facilement les méthodes d'inversion proposés afin d'optimiser l'acquisition de données fiables en rayons X en synchrotron. En retour, les outils développés spécifiquement pour les rayons X apparaissent comme étant à même de répondre au défi de la super-résolution dans le visible. Ce travail sera fait en collaboration avec l'équipe MOSAIC, le LPN (Marcoussis), le CEA (Saclay) et les synchrotrons Soleil (Gif-sur-Yvette) et ESRF (Grenoble). Avec ce projet, le spectre couvert par l'Institut Fresnel s'étendra des rayons X aux radiofréquences.

INTERACTION D'UNE ONDE AVEC DES SURFACES RUGUEUSES, IMAGERIE OPTIQUE ET TELEDETECTION OCEANIQUE

L'imagerie de surfaces rugueuses, i. e. la caractérisation des paramètres statistiques de la surface ou la reconstruction déterministe du profil à partir du champ diffracté, repose sur une modélisation très spécifique du problème de diffraction (intégrale de surface) qui est un point fort de l'équipe. Nous nous intéressons à deux grandes applications, la caractérisation d'états de surface dans le domaine optique et la télédétection océanique radar.

■ **THEME 1 : IMAGERIE OPTIQUE : CARACTERISATION STATISTIQUE ET PROFILOMETRIE**

Dans le cadre du projet Recherche Exploratoire et Innovation (REI DGA) GENESUPRA 2009-2012 en partenariat avec l'équipe OPTO-PV de l'IM2NP et Thalès Optronique, nous étudions théoriquement et expérimentalement le lien entre les statistiques du champ diffracté et celles des surfaces rugueuses. Nous nous intéressons en particulier aux surfaces présentant des statistiques non conventionnelles et ayant un comportement radiatif particulier (absorbeurs). Parallèlement, nous travaillons avec les équipes MAP2 et HIPE de l'Institut Fresnel et l'ONERA DOTA Toulouse (projet d'ANRB TraMEL déposé en 2010), sur le comportement polarimétrique statistique du speckle en fonction de la rugosité.

La caractérisation statistique d'une surface n'est pas toujours suffisante et, pour de nombreuses applications (imagerie de défauts, contrôle de fabrication), il peut être nécessaire de retrouver le profil exact de l'échantillon. Nous étudions un système de profilométrie optique quantitative basé sur le principe de la microscopie tomographique et reposant sur une modélisation rigoureuse du champ diffracté. L'objectif est d'obtenir une résolution transverse bien supérieure aux techniques actuelles. Ce travail est à la fois théorique et expérimental. Il fait l'objet d'une thèse encadrée par G. Soriano et H. Giovannini débutée en septembre 2009.

■ **THEME 2 : TELEDETECTION OCEANIQUE**

Nous comptons poursuivre la modélisation rigoureuse de la diffraction par des surfaces fortement rugueuses éclairées en incidence rasante. Ce travail de modélisation sera utilisé pour modéliser l'écho radar de surfaces océaniques en régime de déferlement dans le cadre de l'ANRB SIMODE 2009-2012, resp. C.A. Guérin du LSEET (UMR 6017). En plus d'être confrontées à des mesures micro-ondes, ces données rigoureuses doivent permettre de développer et valider les modèles approchés de diffraction développés en collaboration avec le LSEET. Une thèse sur ce sujet financée par DNCS Toulon, dirigée par M. Saillard du LSEET et G. Soriano, devrait débuter début 2011.

INTERACTION D'UN PULSE ELECTROMAGNETIQUE AVEC UNE STRUCTURE COMPLEXE. FORCES ET IMAGERIE EN REGIME TRANSITOIRE

La plupart des systèmes d'imagerie que nous avons étudiés jusqu'à présent utilisent des champs incidents monochromatiques. Or, il apparaît que l'envoi d'une impulsion électromagnétique (ou l'utilisation de plusieurs fréquences) permet d'augmenter significativement les performances du système. L'apparition de techniques de façonnage d'impulsions en optique qui reproduisent celles existant en micro-onde et les études de super-focalisation spatio-temporelles publiées récemment [Lerosey et al., Science, 2007] nous ont motivés pour développer ce nouvel axe de recherche qui devrait accueillir deux nouveaux doctorants en octobre 2010.

■ **THEME 1 : ETUDE DE L'INTERACTION D'UNE IMPULSION LUMINEUSE AVEC UNE STRUCTURE COMPLEXE**

Nous poursuivons la mise en œuvre de codes de simulation de l'interaction d'un pulse avec des objets 3D inhomogènes situés dans des environnements complexes, (multicouche ou réseau). Cet outil permettra d'analyser l'interaction de systèmes résonnants avec un pulse, le rôle de la dispersion dans l'étalement du pulse diffracté, l'impact de la diffusion multiple que ce soit entre les différents objets en présence ou par des réflexions multiples sur les différentes interfaces. Ces études serviront de cadre pour l'étude des forces optiques temporelles et l'étude de l'imagerie en régime transitoire.

■ **THEME 2 : ETUDE DES FORCES OPTIQUES TEMPORELLES**

Après avoir analysé les forces optiques et la nano-manipulation en régime harmonique, nous étudierons de manière fondamentale les forces optiques temporelles s'exerçant sur des nano-objets éclairés par un pulse de lumière. Nous essaierons, en particulier, de mettre en évidence (sur des objets résonnants) un terme de force propre au régime transitoire. L'objectif est de trouver une configuration facilement réalisable par les expérimentateurs dans le domaine optique. Ce travail théorique est réalisé en collaboration avec l'UTS de Sydney. A plus long terme nous envisageons une mise en œuvre expérimentale avec l'équipe MOSAIC.

■ **THEME 3 : IMAGERIE MULTIFREQUENCE ET IMAGERIE EN REGIME TRANSITOIRE**

L'imagerie en régime transitoire est particulièrement bien adaptée à des configurations en 'vue limitée' car l'information temporelle ou multifréquentielle permet de compenser le manque d'informations spatiales. Dans le cadre de l'imagerie micro-onde d'objets enfouis, nous étudions l'intérêt d'utiliser un pulse façonné par retournement temporel pour améliorer la résolution et diminuer le bruit de structure. Une collaboration avec le LSEET et le LEAT (UMR 6071) qui dispose d'un radar à retournement temporel est en cours pour obtenir des données expérimentales.

Nous envisageons aussi de conduire une étude fondamentale sur la résolution d'un système d'imagerie en régime transitoire. On considère généralement que la résolution est limitée par les hautes fréquences du pulse employé, les basses fréquences conférant une bonne résistance au bruit. Cependant, nous pressentons que cette analyse simple doit être revue en profondeur lorsque la diffusion multiple est importante.

PROJET DE HIPE

Les activités de l'équipe HIPE s'organisent autour de la conception, du développement, de la mise en place et de l'exploitation d'outils d'instrumentation dans le domaine spectral des micro-ondes [0.3-40 GHz]. La réalisation de tels instruments hyperfréquences nécessite un couplage étroit entre études expérimentales et théoriques. Les avancées obtenues dans ces différents domaines sont mises à contribution dans les quatre principaux systèmes de mesure des champs électromagnétiques exploités au sein du groupe:

Dans les prochaines années, notre objectif restera de pouvoir concevoir, développer, mettre en place et exploiter des outils d'instrumentation dans le domaine spectral des hyperfréquences, tout en garantissant que ces outils seront optimaux et optimisés pour l'application envisagée. Nos activités de recherche permettent de définir ce que peuvent être les critères d'optimalité d'un système, comment quantifier les paramètres clés qui en garantissent l'optimalité et comment les atteindre dans le cadre des applications choisies.

BILAN QUANTITATIF DU GROUPE

Responsable du groupe : Amélie LITMAN

Personnels permanents

NOM Prénom	Statut	Organisme d'appartenance
EYRAUD Christelle	MCF	UPCAM (arrivée : 01.09.08)
GEFFRIN Jean-Michel	IR1	CNRS
LITMAN Amélie	MCF	UP
SABOUROUX Pierre	MCF	UP
TORTEL Hervé	MCF	UP

Personnels non permanents

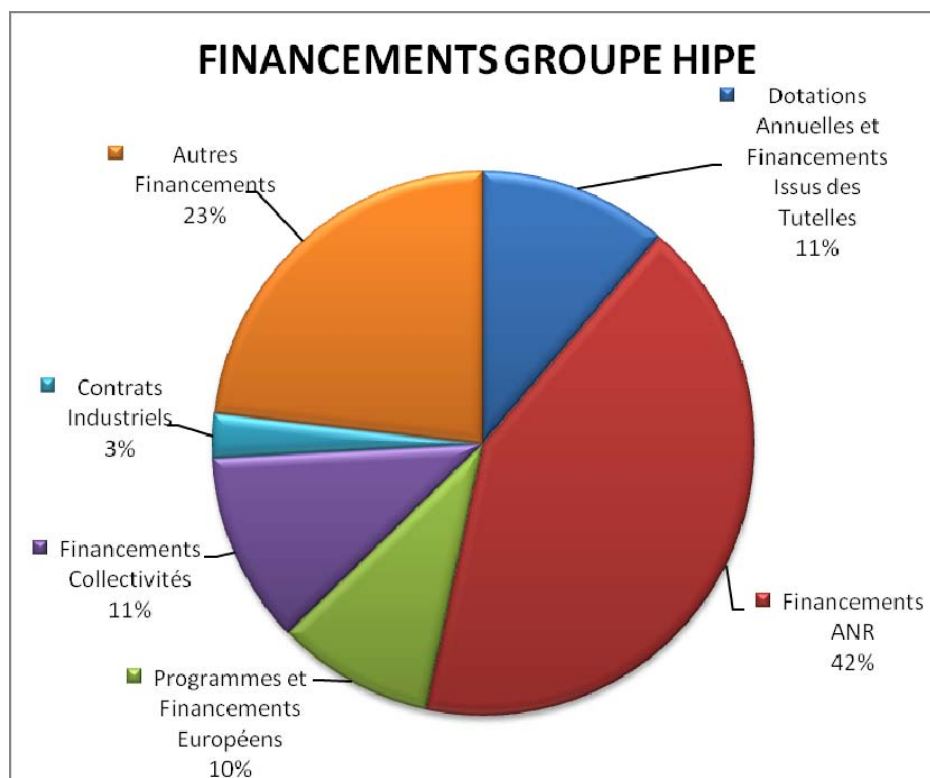
NOM Prénom	Statut	Date de soutenance prévue
BA Doudou	Doctorant	2010
MOHAMED Malidé	Doctorant	2010
ZHANG Xiaoyun	Doctorante	2010

■ **APPRECIATION SUR LA QUALITE SCIENTIFIQUE ET LA PRODUCTION**

- 29 Publications dans des revues de rang A (ACL)
- 1 Conférences invitées dans un congrès international
- 3 Thèses soutenues
- 3 Thèses en cours
- 2 HDR soutenues
- 1 Post-doctorants
- 1 ATER
- Chercheur invité : L. Crocco, CNR-IREA, Italie, 2 mois
- Projets nationaux : 1 ANR Blanche (38,5 K€), 1 ANR JC (112 K€), 1 PID (32,5 K€)
- Projets internationaux : 1 INTAS Sud-Caucase (7,5 K€)
- Interdisciplinarité : ANR JC avec l'INRA (Agronomie), ANR Blanche avec le LPPCA, le CRIA, le CETHIL et le LPLAM (Combustion, Thermique), PID avec le LAOG (Astrophysique)
- Distinctions : 3 articles mentionnés dans la revue "Inverse Problems" comme "Featured Articles" pour 2009
- Valorisation : P. Sabouroux est représentant du président de l'Université de Provence auprès de ValorPaca

RECETTES

RECAPITULATIF FINANCEMENTS OBTENUS PAR LES MEMBRES DE L'EQUIPE HIPE (Membres de l'équipe SEMO exclus)	
Dotations Annuelles et Financements Issus des Tutelles	35 896.88 €
Financements ANR	134 442.36 €
Programmes et Financements Européens	30 000.00 €
Financements Collectivités	36 354.27 €
Contrats Industriels	8 373.44 €
Autres Financements	74 050.34 €
TOTAL	319 117.29 €



OUTILS NUMERIQUES DE MODELISATION ET D'IMAGERIE

Nous disposons actuellement de codes de modélisation 2D et 3D, basés soit sur la méthode des moments, soit sur la méthode des éléments finis. La méthode des moments 3D est particulièrement adaptée pour des configurations où les antennes sont loin de l'objet illuminé. Les différents agrégats mesurés dans la grande chambre anéchoïque seront un bon moyen de quantifier la limite en termes de résolution de notre algorithme d'inversion basé sur la méthode des moments. Ceci permettra également de détecter les mesures les plus utiles/inutiles pour l'inversion en fonction des conditions expérimentales et théoriques. Ce design optimal de positionnement des antennes et de leurs polarisations se fera par un aller-retour inversion/mesure, tout en exploitant la lacunarité de la sphère d'Ewald et les propriétés spectrales de l'opérateur de radiation en 3D.

Les éléments finis sont plus adaptés aux configurations de mesure présentant des géométries complexes. A l'heure actuelle, cet outil a largement été éprouvé dans de nombreuses configurations et il est capable de résoudre des problèmes de l'ordre de 0.5 à 1 Million de degré de liberté en utilisant des méthodes directes de résolution de système linéaire. Afin de traiter des volumes plus conséquents, tout en conservant des calculs de durées raisonnables et pouvant être effectués sur un PC de bureau, plusieurs techniques permettant de résoudre le système linéaire de manière plus efficace seront mises en œuvre et testées. Ce développement s'inscrit en particulier dans le cadre d'un projet ANR Blanc accepté en 2010 et qui regroupe les équipes

MAP2, SEMO et HIPE de l'Institut Fresnel, le LATP et l'Onera et qui vise à mieux modéliser et comprendre les effets de dé-polarisation rencontrés en interférométrie polarimétrique.

Un travail de fond sur la structure des algorithmes quantitatifs sera également entrepris, afin d'incorporer des minimisations plus performantes. Un tel algorithme est en effet une base essentielle pour compléter les instruments d'imagerie hyperfréquence que nous développons. Ainsi, un code d'inversion tridimensionnel quantitatif "classique" sera mis au point à partir du formalisme par éléments finis. Il nécessitera le calcul des états adjoints associés pour le calcul des gradients, en faisant attention aux différentes polarisations des champs. L'incorporation adéquate d'informations a priori sera également mise en place suivant l'application traitée (objets de forme générique pour les agrégats de particules, gradients d'indice pour l'écoulement de l'eau, ...). Une partie de ces travaux sera menée en collaboration avec l'IREA (Italie).

MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN GEOMETRIE COMPLETE

Les mesures de diffraction dans la grande chambre anéchoïque sont maintenant particulièrement bien maîtrisées, tant au niveau du protocole d'acquisition qu'au niveau de la calibration. De plus, les capacités de ce système ont été précisément quantifiées et permettent de mesurer les champs diffractés par des objets dont les structures spatiales sont petites devant la longueur d'onde. Il est d'ailleurs prévu de mettre à la disposition de la communauté scientifique, probablement via le GDR Ondes, des "benchmarks" pour différentes cibles afin de permettre des comparaisons fines mesures/modélisations.

La mesure de la diffraction par des structures de géométries de plus en plus fines et complexes se poursuivra. En effet, les agrégats sont omniprésents dans notre environnement: dans les résidus de combustion, dans l'air ambiant sain ou pollué, mais aussi dans des zones plus lointaines comme dans l'espace interstellaire. Via une analogie micro-onde, nous mesurerons les propriétés optiques (matrices de diffusion complètes) pour des agrégats tests de différentes natures. Ces agrégats seront conçus pour être analogues aux poussières attendues dans les disques protoplanétaires mais à une échelle centimétrique donc maîtrisable. La matrice de diffusion complète apporte une diversité d'information en termes de polarisation, mais est souvent trop peu exploitée. Compte tenu des faibles dimensions des cibles et des difficultés de mesurer des polarisations croisées, il nous faudra augmenter la dynamique de mesure dans la grande chambre anéchoïque, en remplaçant le matériel de mesure devenu obsolète pour mettre à profit les performances d'appareils récents. L'adjonction d'un nouvel axe de rotation permettra d'obtenir des mesures 3D "totales" et amener à des mesures "statistiques" contrôlées. Le renouvellement des positionneurs permettra aussi de diminuer considérablement les temps d'acquisition et d'effectuer des mesures à la volée. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre HIPE et MAP2 de l'Institut Fresnel, le Cethil et le LAOG.

MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN GEOMETRIE CYLINDRIQUE

Le scanner circulaire est en constante évolution. De nouvelles cartes électroniques viennent d'être installées. Le multiplexeur/démultiplexeur sera remplacé par un système de nouvelle génération pour gagner en rapidité et en précision. Un nouveau design est également à l'étude. Ce développement se positionne dans la poursuite du projet CESAR, avec pour objectif une imagerie quantitative, robuste au bruit, de l'évolution de l'eau dans une colonne de sol. Il sera également du plus grand intérêt de concevoir des algorithmes multiphysiques. L'évolution dans le temps du processus dynamique que nous serons en train d'imager nous amènera à définir et à tester différents protocoles d'inversion: imagerie différentielle, imagerie par rapport à un état de référence, utilisation du processus de diffusion directement dans les termes d'attache aux données, ...

La configuration d'étude du scanner circulaire a donné lieu à un nouvel axe de recherche, à savoir l'imagerie multimodale. Nous débutons d'ailleurs une étude en collaboration avec le CEA-Saclay pour explorer les potentialités d'une imagerie hyperfréquence de la tête dans le but final d'aider à construire des IRM à fort champ. Notre étude servira à définir les limites en terme de résolution (spatiale, quantitative) et de sensibilité d'une imagerie microonde fonctionnelle à l'aide des outils de simulation et d'inversion que nous avons mis au point ces dernières années pour le scanner circulaire. De même une collaboration naît avec le LMA, UPR 7051, sur la problématique de l'imagerie multi-onde (ultrasonore/hyperfréquences) pour les milieux naturels et biologiques.

MESURES DE DIFFRACTION ET IMAGERIE EN ASPECT LIMITE

Les prochaines années vont nous permettre d'atteindre dans la petite chambre anéchoïque le même niveau de maturité que nous avons dans la grande chambre anéchoïque. Il sera alors possible de fournir des mesures de qualité en champ proche. Des mousses de permittivité contrôlées, serviront pour obtenir une configuration objet enfoui avec un contrôle parfait des différents paramètres. Une quantification du bruit de mesure identique à celle qui a été menée dans la grande chambre suivra. Nous nous orienterons progressivement vers des configurations de plus en plus réalistes (utilisation de cuves remplies de terre, variation de l'humidité, ...). Toutes ces mesures permettront de valider et vérifier les domaines d'exploitation de cet instrument d'imagerie et de tester également différents types d'algorithmes de détection et de caractérisation. De plus, cette validation expérimentale permettra d'optimiser la position des antennes, leur orientation et leurs caractéristiques.

Cette petite chambre servira également pour une étude plus amont dont l'objectif est de mesurer l'amplitude et la phase des champs électromagnétiques diffusés par des objets (petits devant la longueur d'onde) déposés sur une surface et excités par des ondes évanescentes dans le domaine des micro-ondes. Ceci permettra à plus long terme l'analyse de situations où l'excitation est d'origine thermique, multispectrale, pour l'étude et la compréhension des transferts radiatifs impliqués dans les

techniques de microscopie (à sonde locale, à champ proche, ...), lorsque ceux-ci sont prédominants. Ce projet constituera de plus un socle en vue de la préparation d'un projet interdisciplinaire plus ambitieux que nous comptons développer avec le CETHIL.

CARACTERISATION DE LIQUIDES EN FLUX DYNAMIQUES

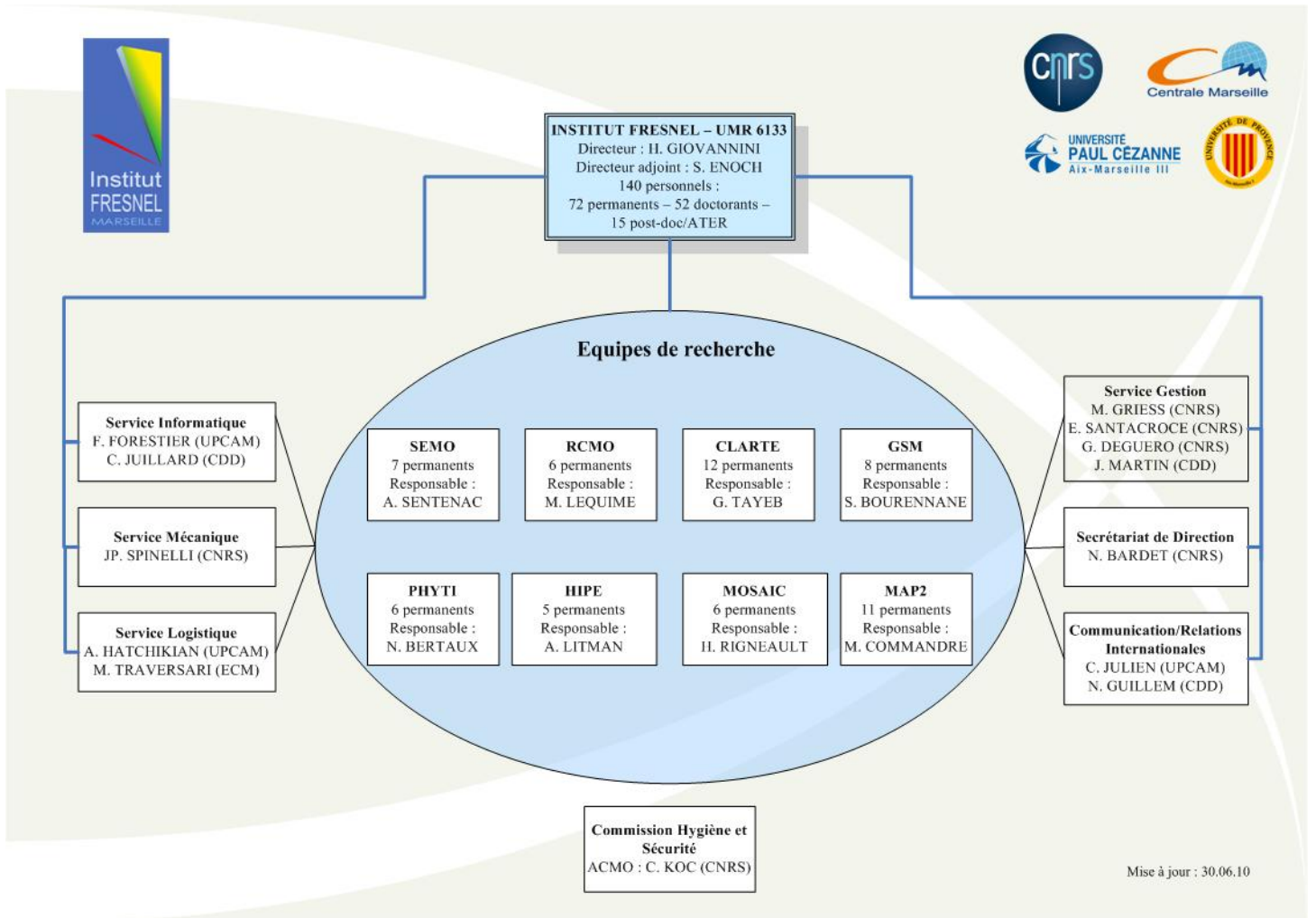
L'outil de mesure "EpsiMu" (Cellule de mesure, protocole et logiciel dédié) est exploitée maintenant par plusieurs partenaires (DGA, LCPC, ISL, CEA ...). Les diverses sollicitations de laboratoires ou d'industriels nous amène à proposer de nouvelles solutions techniques pour étudier des matériaux de natures différentes. Les premières solutions correspondent à des nouveaux prototypes de cellules avec notamment des systèmes de confinement des matériaux granulaires, gel ou liquides ou encore des moyens de régulations de températures. Nous débutons une étude pour étudier les évolutions des caractéristiques électromagnétiques de matériaux dans le temps (monitoring). En effet, ce type d'étude pourrait avoir des ouvertures vers le contrôle de liquides multicomposants comme par exemple la surveillance de matériaux polluants dans un milieu aqueux, ou l'évolution dans le temps de l'humidité dans des milieux granulaires.

CONCLUSION

Dans les prochaines années, les objectifs scientifiques fixés sont en premier lieu de consolider et/ou finaliser les différents outils expérimentaux et théoriques que nous avons déjà mis au point afin d'explorer leurs capacités propres et leurs limites (sensibilité de la mesure des différents outils, résolution maximale atteignable avec nos algorithmes d'inversion actuels, ..). Dans un deuxième temps, nous comptons exploiter les outils existants en les appliquant à des problématiques connexes (imagerie biomédicale, détection de fuites d'eau, ...). Finalement, nous explorerons de nouvelles thématiques de recherche, en collaboration avec d'autres partenaires, en ajoutant par exemple de nouvelles fonctionnalités (modélisation plus fine des phénomènes mis en jeu, incorporation de nouvelles formes d'information a-priori dans les algorithmes d'inversion, mesures des grandeurs totales, diffraction par des poussières interstellaires, ...).

Un fort effort expérimental sera fourni dans la petite chambre anéchoïque pour arriver au même niveau de maturité que nous avons dans la grande chambre anéchoïque. De son côté, cette grande chambre, de part son obsolescence et les progrès techniques des différents constituants des chaînes de mesure hyperfréquences actuellement disponibles, nécessitera une remise à niveau complète et des financements assez conséquents seront nécessaires (diverses demandes en cours). Un recensement des laboratoires français disposant de chambres anéchoïques est d'ailleurs en cours, dans le cadre d'un groupe de travail du GDR Ondes, et l'un des membres de l'équipe est chargé d'organiser une réflexion sur leurs devenir.

ORGANIGRAMME DE L'UNITE PROPOSE POUR LE PROCHAIN QUADRIENNAL



AUTOEVALUATION DE L'UNITE

Positif (pour atteindre les objectifs)		Négatif (pour atteindre les objectifs)	
Origine interne	<p style="text-align: center;"><i>Strengths (Forces)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unité thématique basée sur une continuité entre la théorie et l'expérience, de la physique au traitement des signaux et des images, avec une activité technologique sur la réalisation de certains composants. Les recherches menées vont des aspects fondamentaux au transfert de technologie, avec un nombre élevé de publications et collaborations inter-équipes. ▪ Très bon taux d'insertion professionnelle des doctorants. ▪ Unité de lieu. ▪ Fort taux de publications (Plus de 100 articles publiés et 4 brevets déposés <u>en moyenne par an</u> dans des revues internationales à comité de lecture pour <u>34 ETPR par an</u> - un seul enseignant chercheur non publiant justifié par ses lourdes responsabilités administratives). ▪ Budget élevé (2,7M€/an hors salaires pour 71 permanents tous statuts confondus). ▪ Laboratoire porteur des projets européens Erasmus Mundus Europhotonics Master et Doctorat ▪ Fort lien avec les entreprises au travers de contrats d'étude ou de prestations, sous forme de partenariats par le biais de projets ANR, européens... Ceci en lien étroit avec le pôle de compétitivité OPTITEC. ▪ Visibilité internationale parmi les grands centres de recherche en photonique. ▪ Retombées médiatiques importantes des résultats scientifiques obtenus pendant ce quadriennal. 	<p style="text-align: center;"><i>Weaknesses (Faiblesses)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les effectifs des filières d'enseignement de deuxième cycle dans le périmètre marseillais en optique/photonique et traitement des images et des signaux sont faibles. ▪ Taille peut-être insuffisante pour une bonne visibilité dans une grande université marseillaise unifiée. ▪ Taille sub-critique du service administration/gestion compte tenu du fait que le laboratoire a 4 tutelles et qu'il assume des tâches qui relèvent des relations internationales, de la communication, des questions administratives pour l'accueil de nombreux personnels temporaires et étrangers. Manque notamment d'un personnel administratif/gestion de niveau élevé (ingénieur d'études minimum). ▪ Multiplicité des tutelles, au nombre de 4, rendant complexe le fonctionnement du service administratif. ▪ La pyramide des âges du laboratoire est telle que plusieurs personnels de l'unité, tous statuts confondus, vont atteindre prochainement un âge et une maturité dans leur travail qui entraîneront des besoins de promotion. 	

Origine Externe	<i>Opportunities (Opportunités)</i>	<i>Threats (Menaces)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Développement de l'activité technologique autour de l'Espace Photonique (financement CPER 2007-2013) dont les équipements ont rejoint une centrale de proximité et qui, à terme, pourra rejoindre une grande centrale technologique nationale. ▪ Ouverture en cours vers de nouvelles thématiques grâce eu recrutement de chercheurs amenant des compétences nouvelles, notamment en optique quantique et dans l'imagerie X. ▪ La réussite des programmes européens Erasmus Mundus Europhotonics Master et Doctorat dont l'Institut Fresnel est porteur doit permettre de créer un "effet attractif" pour les formations locales dans les domaines de la photonique et du traitement des images et permettre de ce fait d'augmenter leurs effectifs. ▪ Ouverture d'une filière d' "ingénieur métier" à Polytech Marseille et/ou à l'Ecole Centrale de Marseille en instrumentation photonique répondant à un besoin exprimé par l'industrie. ▪ Grand emprunt : travail en cours pour des demandes dans le cadre du volet "Equipements d'Excellence" et "Laboratoire d'Excellence". ▪ Le projet dans le cadre de l'Equipement d'Excellence construit sur les Composants et les Systèmes Optiques et s'appuyant sur les laboratoires du GIS PIA prévoit entre autre le financement de moyens de calcul, de dispositifs de réalisation et de test de composants. ▪ Le projet dans le cadre du Laboratoire d'Excellence est en cours de construction. Il s'articulera sur les domaines de la micro et nanoélectronique, des matériaux et de la photonique avec les laboratoires du GIS, le CINAM (UPR 3118) et l'IM2NP (UMR 6242). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le risque de baisse de nombres de postes risque, compte tenu de la pyramide des âges du laboratoire et des besoins de promotion, de créer des tensions et de conduire à des départs qui feraient perdre des compétences et des forces au laboratoire. ▪ La visibilité de la Photonique dans les projets de structuration de l'université unique, notamment de l'enseignement, risque d'être réduite. ▪ L'obligation pour les UMR d'avoir une tutelle unique gestionnaire locale serait très dommageable pour l'Institut Fresnel. En effet, cette solution n'est pas adaptée à ce laboratoire dans lequel 20 enseignants chercheurs sont des personnels de l'Ecole Centrale de Marseille.

PROJET DE L'UNITE

L'avenir de l'unité pour le prochain quadriennal dépendra bien sûr :

- du contexte local lié entre autres à la fusion des trois universités marseillaises prévue pour janvier 2012,
- de la politique nationale de soutien et de financement de la recherche en relation avec le grand emprunt,
- du fonctionnement de l'Agence Nationale de la Recherche.

Mais au-delà de ces évolutions dont le laboratoire devra tenir compte pour son fonctionnement et pour la mise en place de sa politique de recherche, un certain nombre de projets et d'orientations sont d'ores et déjà identifiés comme prioritaires.

Le Conseil du Laboratoire a, le 18 juin 2010, donné un avis favorable à l'unanimité pour que le directeur de l'Institut Fresnel pour le quadriennal 2012-2015 soit Stefan Enoch qui conduira donc le projet du laboratoire durant cette période.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les objectifs scientifiques pour le prochain quadriennal se placent dans la continuité des activités menées au cours de ce quadriennal. Toutefois un certain nombre d'axes se dégagent.

■ DEVELOPPEMENT DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE SUR LES COMPOSANTS PHOTONIQUES

Ce volet s'appuie sur le dossier CPER "Espace Photonique". Ce dossier, démarré en 2007, prévoit outre l'achat d'une nouvelle machine de dépôt de dernière génération dont le cahier des charges est actuellement en cours de définition, l'aménagement d'environ 600m² de salles dédiées spécifiquement à l'activité technologique sur les couches minces optiques dans un bâtiment situé en face du bâtiment principal du laboratoire. Le déménagement de toute l'activité technologique est prévu d'ici fin 2012 au plus tard.

Cette opération permettra de mettre les moyens technologiques de l'Institut Fresnel à l'état de l'art et consolidera la place du laboratoire parmi les principaux acteurs au niveau mondial dans le domaine. Il s'agit-là d'une volonté affichée de développer les recherches académiques et les partenariats industriels dans le domaine des couches minces et, plus généralement des composants photoniques.

Dans ce contexte, la plateforme déjà existante de réalisation et de caractérisation de couches minces optiques devrait à très court terme rejoindre la centrale de proximité C'Nano PACA. A terme, l'objectif est que l'Espace Photonique rejoigne une des grandes centrales technologiques du CNRS. Des recrutements seront fléchés dans les années à venir sur cette activité technologique.

La thématique sur les composants photoniques, qui sera conduite en relation avec les membres du GIS "Photonique et Instrumentation Avancée", a fait l'objet d'un volet de la demande de financement d'"équipement d'excellence" dans le cadre du Grand Emprunt.

Au-delà de l'intérêt plus spécifiquement lié aux activités technologiques sur les composants optiques, la création de l'Espace Photonique libèrera de la place qui permettra à la fois d'étendre des expérimentations qui sont à l'étroit dans les locaux actuels et d'accueillir des nouveaux personnels dans de bonnes conditions.

■ OPTIQUE QUANTIQUE

Le laboratoire a décidé de soutenir le développement d'une activité transverse liée à l'optique quantique. Cette opération, qui a conduit au recrutement d'un professeur des universités en juin 2010, doit donner une ouverture nouvelle à certains sujets de recherche actuellement menés sur les mécanismes d'émission de la lumière, sur des aspects théoriques sur le lien entre la théorie électromagnétique et la théorie quantique, sur les mécanismes d'interaction lumière-matière à de petites échelles temporelles et/ou spatiales...

Les développements futurs, les activités transverses et les collaborations avec d'autres laboratoires autour de cette thématique seront soutenus par le laboratoire.

■ EXPERIMENTATION ET IMAGERIE HYPERFREQUENCES

La création de l'équipe HIPE permettra de rendre plus visibles les activités autour de l'expérimentation et l'imagerie hyperfréquences qui s'appuient notamment sur des dispositifs originaux et uniques en France et dont les configurations permettent d'aborder des problèmes variés dans différents domaines d'applications. Les développements autour de ce thème de recherche concernent notamment l'imagerie du sous sol pour l'économie de ressources hydriques et le développement durable, le domaine aérospatial, la caractérisation de liquides en flux dynamiques ou encore l'imagerie biomédicale.

■ IMAGERIE DANS LE DOMAINE DES RAYONS X

L'activité démarrée en 2009, sur l'imagerie dans le domaine des rayons X, qui a conduit au recrutement (sur mutation) d'un chercheur CNRS ayant une expérience reconnue sur le sujet, est amenée à se développer en relation avec les sujets sur l'imagerie traités au laboratoire qui couvrent d'autres domaines de fréquence.

Grâce à cette ouverture, la thématique de l'imagerie à l'Institut Fresnel couvre désormais le spectre des fréquences des rayons X aux hyperfréquences. Ce large domaine spectral permettra d'étudier l'interaction ondes/matière à des échelles spatiales allant du nanomètre au centimètre, pour des applications qui vont de l'étude de la structure de la matière à la détection d'objets enfouis.

■ ACTIVITES DE RECHERCHE TRANSVERSES

Le prochain quadriennal verra sans doute croître encore l'importance des collaborations entre les équipes sur des sujets transverses qui couvrent à la fois des aspects théoriques et des aspects expérimentaux en photonique ainsi que des aspects liés au traitement des images et des signaux. Cette tendance très forte, qui se dégage du quadriennal en cours, matérialisée par un nombre élevé de publications et de projets inter-équipes, qui montre la cohésion du laboratoire et son unité thématique, pourra être accompagnée par l'attribution de moyens. La présentation des activités transverses ainsi que leur soutien fait actuellement l'objet d'une réflexion sur l'organisation du laboratoire et sur la distribution des moyens humains et financiers.

D'une manière générale, la coexistence à l'Institut Fresnel de thématiques de recherche à la fois expérimentales et théoriques, sur les ondes en général, couvrant pratiquement tout le spectre des fréquences avec à la fois des aspects fondamentaux et des applications industrielles ouvre, pour les années à venir, des perspectives extrêmement prometteuses.

■ AUTRES THEMATIQUES

Outre les orientations présentées ci-dessus, on citera de manière non exhaustive la poursuite des recherches actuellement menées sur l'interaction lumière-matière à fort flux, sur la plasmonique pour l'imagerie, sur les métamatériaux et les cristaux photoniques pour l'étude de nouveaux composants, sur la biophotonique, sur le façonnage temporel et spatial de la lumière pour l'imagerie et la spectroscopie en milieu complexe, sur la recherche d'un nouveau formalisme de l'électromagnétisme basé sur les fonctions auxiliaires, sur l'imagerie de phase pour la microscopie, sur le traitement tensoriel des signaux, sur l'imagerie radar et la télédétection, sur l'optique statistique et la cohérence, sur l'optique pour la microélectronique...

LIEN AVEC LES FORMATIONS

Le laboratoire a, comme toute UMR, des relations étroites avec ses établissements de tutelle de l'enseignement supérieur. Les chercheurs et des enseignants chercheurs de l'Institut Fresnel sont impliqués dans les formations de différents niveaux dans différents établissements d'enseignement non seulement marseillais mais nationaux et internationaux. Un gros effort conduit lors de ce quadriennal a abouti au succès du dossier de Master recherche Erasmus Mundus Europhotonics et de son volet Doctoral. Les différents aspects de ce dossier ont été amplement décrits dans la partie Bilan du rapport. Si le Master et le Doctorat Europhotonics attestent de la dimension internationale de l'enseignement et de la recherche en Photonique dans le périmètre marseillais, il reste à consolider et développer l'offre de formation locale dans ce domaine, notamment au niveau Master. Pour l'instant, à ce niveau, les seules formations existantes sont le Master recherche Optique Signal et Image (OPSI), dont Europhotonics est le parcours international, l'axe d'approfondissement de 3^{ème} année

de l'Ecole Centrale de Marseille et le Master professionnel Optique et Instrumentation Laser (OIL). Ces formations souffrent actuellement d'une pénurie de candidats étudiants de très bon niveau qui conduit à des effectifs réduits. Afin d'organiser et structurer l'offre de formation en photonique, affirmer son importance dans différents domaines technologiques et de recherche et répondre à des besoins exprimés par les industriels, plusieurs projets sont en cours.

■ OPTION/DEPARTEMENT DE PHOTONIQUE A POLYTECH MARSEILLE

Il s'agit de proposer la création d'un nouveau département ou d'une option dans un département existant. L'objectif étant de proposer une formation d'ingénieur "métier" dans le domaine de la photonique. Ce projet, qui est à l'étude avec notamment la collaboration d'industriels au travers de pôle de compétitivité Optitec, est en cours de réalisation. Le projet intègre les liens avec le Master OPSI, le Master OIL et le Master Europhotonics.

■ FORMATION D'INGENIEUR SPECIALISE A L'ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE

L'opportunité d'ouvrir une filière d'ingénieur spécialisé à l'Ecole Centrale centrée entre autres sur les disciplines étudiées à l'Institut Fresnel est à l'étude. Pour l'instant cette réflexion est à un stade préliminaire.

GRAND EMPRUNT

Au moment de la rédaction de ce document, deux dossiers sont en cours d'instruction dans le cadre des appels d'offres du Grand Emprunt.

■ "EQUIPEMENT D'EXCELLENCE"

Ce projet est centré sur les composants et les systèmes optiques (CSO) et il implique les laboratoires fondateurs du GIS PIA (Institut Fresnel, LP3 et LAM). Il prévoit une demande de financement pour un ensemble cohérent d'équipements pour : étendre les capacités des 3 laboratoires à réaliser des composants 3D, à augmenter la précision de réalisation, à permettre les tests et les calibrations de systèmes optiques et à rationaliser l'utilisation de l'ensemble des équipements par la communauté de la photonique. A notre connaissance cette démarche est actuellement unique en France et devrait conforter la place de la « Photonique marseillaise » au premier plan international. Cette stratégie est en synergie avec celles des industriels de la Région PACA et du Pôle Optitec qui ont décidé récemment de renforcer l'aspect composants optiques (composants optiques au sens large et non pas seulement pour les télécommunications où la région n'est pas particulièrement bien placée). Plus précisément les équipements demandés seraient regroupés en trois sous-ensembles : micro et nanotechnologies pour les composants optiques, caractérisation des composants optiques micro et nanostructurés et enfin caractérisation des systèmes

optiques en milieux hostiles. Les deux premiers éléments constituent la plateforme "composants optiques" et le troisième la plateforme "systèmes optiques".

Les objectifs scientifiques visés se déclinent eux aussi en trois parties :

- Les fonctionnalités optiques nouvelles. On peut citer en particulier la structuration tridimensionnelle des matériaux et nous pensons ici en particulier aux métamatériaux ou les fonctionnalités offertes par des matériaux organiques. Dans ces domaines un des points forts de la demande se situe dans l'appui au niveau modélisation et théorique qui existe au sein de l'Institut Fresnel.
- Les composants visant à atteindre des propriétés inégalées à ce jour en mettant l'accent sur la tenue au flux laser des composants optiques qui est une problématique pour laquelle l'ensemble des deux laboratoires LP3 et Institut Fresnel possède une place de choix au niveau mondial.
- Les systèmes optiques nouveaux dédiés aux futurs grands programmes européens dans le domaine de l'astrophysique au sol et spatiaux, avec des retombées dans les technologies de polissage, d'optique active et adaptative, de caractérisation de composants et systèmes en milieux extrêmes.

■ "LABORATOIRE D'EXCELLENCE"

Au moment de la rédaction de ce document, le projet dans lequel l'Institut Fresnel est impliqué s'articule autour de 4 laboratoires marseillais en sciences dures (Institut Fresnel, IM2NP, CINAM, LP3). D'autres laboratoires sont associés : LEST - Laboratoire d'Economie et de Sociologie du Travail - UMR 6123, LCP - Laboratoire de Chimie de Provence - UMR 6264, le Centre de Microélectronique de Provence - CMP et l'UMR 6201 - Droit Public comparé, droit international et européen.

Le Labex "*ehc*" sur l'ingénierie des systèmes hybrides hétérogènes photoniques et électroniques a pour objectif de développer et d'ancrer au meilleur niveau mondial la recherche, la formation et la valorisation sur le développement de nouvelles propriétés et fonctions électroniques, optiques et magnétiques. Le centre de gravité disciplinaire d'*ehc* inclut la physique de base et l'ingénierie (composants, systèmes et procédés électroniques et photoniques), avec des interfaces en biologie et chimie. L'ambition est de créer un centre mondialement reconnu pour sa capacité à maîtriser le comportement de matériaux depuis l'atome à la macrostructure dans un dispositif intégré pour aboutir à de nouvelles fonctions électro-mécano-magnéto-optiques ajustables et desservir les secteurs des TIC, de la santé, de l'énergie et de l'environnement.

Ce projet rassemble 650 personnes dont 350 permanents.

CARNOT

Des discussions ont été initiées pour l'intégration de l'Institut Fresnel dans un Institut Carnot. Au moment de la rédaction de ce document, deux possibilités sont en cours d'analyse : une intégration dans l'Institut Carnot Star, avec une logique géographique locale et multidisciplinaire, ou une intégration dans le projet d'extension et de transformation du Carnot Institut d'Optique, avec une logique thématique. Ce

deuxième choix offrant l'avantage de donner une visibilité nationale aux thématiques de la Photonique et des Lasers.

ORGANISATION INTERNE

Un groupe de travail a été constitué pour entamer une réflexion sur l'évolution de l'organisation interne du laboratoire en faisant un état des lieux après 10 ans d'existence du laboratoire. Ceci dans le but de créer le contexte le plus favorable possible au développement de la recherche, en mettant l'accent sur les collaborations inter-équipes, sur l'émergence de nouvelles thématiques, en faisant en sorte que la prospection scientifique soit conduite dans les meilleures conditions.

Au cours du prochain quadriennal l'organisation du laboratoire par équipes subsistera, tout au moins au début, de manière à se donner le temps d'une réflexion suffisamment approfondie. Pour le futur, à cette organisation "verticale" devrait se superposer une organisation "horizontale" par thèmes de recherche ou par équipes-projet, avec une distribution des moyens et un soutien sur la base de critères à définir.

CONCLUSION

L'Institut Fresnel a maintenant, dans ses domaines d'expertise, une place parmi les grands centres de recherche mondiaux. L'unité de ses thématiques, qui n'en exclut pas la diversité, l'étendue de ses projets, où les sujets abordés vont du plus fondamental au plus appliqué, avec des partenariats industriels forts, font sa spécificité et sa force. Dans l'avenir, le laboratoire devra continuer dans cette voie tout en trouvant les ressources pour s'adapter au contexte changeant de la recherche et de l'enseignement supérieur.

Il est important que le désir de faire progresser la connaissance, en cherchant à répondre à des questions scientifiques fondamentales, puisse avoir sa place, sa reconnaissance et un soutien fort. Ceci, malgré les incitations à créer des structures très consommatrices de temps et à orienter les recherches sur des projets à court terme.

Le projet de l'Institut Fresnel a été construit de manière à ce que les conditions soient réunies pour que les recherches, sous tous leurs différents aspects, puissent y être conduites dans le meilleur environnement possible.

L'Institut Fresnel a la volonté d'affirmer encore plus sa place parmi les grands centres de recherche internationaux en Photonique, Electromagnétisme, Traitement des Images et des Signaux en continuant de remplir avec un haut degré d'exigence ses missions de Recherche, d'Enseignement et d'Innovation.

RESUME

L'Institut Fresnel, créé le 1^{er} janvier 2000, est une Unité Mixte de Recherche (UMR 6133) dont les tutelles sont l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3 (tutelle principale), le CNRS, l'Ecole Centrale de Marseille et l'Université de Provence.

Les domaines d'expertise du laboratoire sont l'optique-photonique, l'électromagnétisme et le traitement des images et des signaux. Ces domaines, qui sont par essence très étroitement liés et qui comprennent à la fois des aspects théoriques et expérimentaux, donnent sa cohésion au laboratoire.

La ligne directrice des recherches menées à l'Institut Fresnel s'étend ainsi de l'interaction entre les ondes et la matière ou les objets, au traitement numérique des données, en passant par la réalisation de certains composants. Les activités du laboratoire vont donc "du photon (ou de l'onde), jusqu'au bit", en passant par la conception et la réalisation de certains composants.

L'Institut Fresnel possède l'ensemble des compétences nécessaires pour pouvoir, à partir de l'étude des interactions entre les ondes et la matière ou les objets, obtenir, analyser des informations pertinentes, concevoir, réaliser des composants. Ceci pour répondre à la fois à des questions fondamentales et à des problèmes pratiques dans différents domaines.

Le laboratoire est structuré en 7 équipes de recherche (8 proposées pour le prochain quadriennal) pour un effectif de 71 permanents.

Les faits marquants de ce quadriennal sont :

- 455 publications dans des revues internationales à comité de lecture, 20 brevets, pour 58 chercheurs et enseignants chercheurs (34 équivalents temps plein recherche en moyenne par an).
- Le regroupement de tout le laboratoire dans un unique bâtiment.
- 2,7 M€ de budget annuel hors salaires.
- L'avancement du dossier Espace Photonique qui permettra d'ici 2 ans, grâce à un financement de 4,2M€ du CPER 2007-2013, d'acheter du matériel à l'état de l'art pour la réalisation et le contrôle de couches optiques, le tout dans un nouveau bâtiment et dans un environnement contrôlé.
- L'attribution par la Communauté Européenne des financements pour les programmes Erasmus Mundus Master et Doctorate Europhotonics portés par le laboratoire.
- La création de 2 start-up par des anciens doctorants du laboratoire.

EXECUTIVE SUMMARY

Institut Fresnel, created on January 1st, 2000, is a laboratory (Unité Mixte de Recherche) of : University Paul Cézanne Aix-Marseille 3, CNRS, Ecole Centrale de Marseille, and Université de Provence.

The fields of expertise of the laboratory are: optics-photonics, electromagnetism, image and signal processing. Both theoretical and experimental aspects of these strongly interconnected fields are studied.

The study of the interaction between waves and matter/objects, the development of numerical methods for signal and image processing, the design and realization of optical components are among the research topics of Institut Fresnel. The activities of Institut Fresnel can be summarized by "from the photon (the wave) to the bit".

Institut Fresnel possesses the skills for obtaining, analyzing the useful information given by the interaction between waves and matter, designing and manufacturing some optical components. Different fundamental and applied problems are addressed.

The laboratory is structured in 7 (8 proposed for the next four-year period) research teams for 71 permanent positions.

The striking facts of this four-year period have been :

- 455 papers published in refereed international journals and 20 patents deposited by the 58 permanent researchers and professors of the laboratory.
- All the teams of Institut Fresnel are gathered in the same building since 2008.
- Annual budget (without salaries) of 2.7 M€.
- Within 2 years new state-of-the-art optical coating systems and metrology set-ups will be installed in the new building "Espace Photonique" (funding of CPER 2007-2013)
- The European Community has granted the Erasmus Mundus Master and Doctorate Europhotonics programs coordinated by Institut Fresnel.
- 2 start-up created by former PhD students of the laboratory.

Nos Partenaires Institutionnels

