



INSTITUT FRESNEL

RAPPORT D'ACTIVITE ***Période 2002-2006***

Sections du Comité National : 07 et 08

Sections CNU : 30, 61 et 63

- *Université Paul Cézanne (rattachement principal)*
- *Ecole Centrale de Marseille (rattachement secondaire)*
- *Université de Provence (rattachement secondaire)*

Table des matières :

I - ORGANIGRAMME	11
II - INTRODUCTION GENERALE.....	13
III - ÉQUIPE CLARTE, RAPPORT SCIENTIFIQUE	19
III.1. Introduction	20
III.2. Fibres optiques.....	20
III.2.1. Propriétés linéaires des fibres optiques microstructurées.....	20
III.2.2. Nonlinéarités dans les fibres microstructurées	22
III.2.3. Fibres torsadées	22
III.2.4. Diffusion Brillouin	23
III.3. Métamatériaux et cristaux photoniques	24
III.3.1. Métamatériaux	24
III.3.2. Auto-guidage.....	26
III.3.3. Quasi-cristaux	27
III.3.4. Piégeage de particules en vue de former un cristal photonique ajustable	28
III.4. Plasmonique	29
III.4.1. Tamis à photons	29
III.4.2. Ouvertures nanométriques (ou nanotrous).....	30
III.4.3. Application à la biophotonique.....	31
III.5. Réseaux résonnants : composants hybrides multicouches nanostructurés pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde	31
III.6. Forces optiques.....	32
III.7. Antennes résonnantes.....	33
III.8. Perspectives	33
III.9. Activités de rayonnement dans la communauté scientifique.....	34
III.10. Thèses soutenues	35
III.11. Thèses en cours.....	35
III.12. Budget CLARTE 03-06.....	36
III.13. Production scientifique CLARTE	37
III.13.1. Publications soumises dans des revues à comité de lecture	37
III.13.2. Publications dans des revues à comité de lecture.....	37
III.13.3. Conférences invitées dans des congrès.....	41
III.13.4. Proceedings à comité de lecture.....	43
III.13.5. Publications dans des revues sans comité	44
III.13.6. Communications à des congrès, symposium	44
III.13.7. Séminaires, workshops	45
III.13.8. Chapitres dans les ouvrages	46
III.13.9. Livres et ouvrages.....	46
III.13.10. Brevets	46
IV - ÉQUIPE MAP2, RAPPORT SCIENTIFIQUE	47
IV.1. Introduction	48
IV.2. Thème : Photonique de puissance	49
IV.2.1. Caractérisation non destructive des nanodéfauts initiateurs de l'endommagement laser.....	49
IV.2.2. Métrologie de l'endommagement multi-échelles	50

IV.2.3.	Etude des phénomènes de « fatigue » et « conditionnement » des matériaux	51
IV.2.4.	Etude de l'endommagement laser dans les couches minces optiques (RCMO-MAP2)	52
IV.2.5.	Etude de l'endommagement dans l'infrarouge – Banc CAMELIA	53
IV.2.6.	Etude de l'endommagement laser dans les cristaux non linéaires et leurs traitements optiques	53
IV.2.7.	Réparation et stabilisation des dommages	54
IV.2.8.	Tenue au flux de composants microstructurés (miroir de phase)	54
IV.2.9.	Activité optique non linéaire	54
IV.3.	Thème : Diffusion Lumineuse	55
IV.3.1.	Métrologie des substrats transparents	55
IV.3.2.	« Pixélisation » de la BRDF : Analyseur Optique de Surface (collaboration RCMO)	57
IV.3.3.	Ellipsométrie sur champ diffus	57
IV.3.4.	Imagerie en milieu diffusant	59
IV.3.5.	Scatterometry ou applications de l'ellipsométrie pour la microélectronique	60
IV.3.6.	Couleur et poudres interférentielles	61
IV.4.	Thème : Optique pour la microélectronique	61
IV.4.1.	Simulation et caractérisation optique d'imageurs CMOS	62
IV.4.2.	Masques avancés (collaboration GSM)	64
IV.5.	Perspectives	65
IV.6.	Rayonnement	66
IV.6.1.	Organisation de congrès et conférences	66
IV.6.2.	Conseils scientifiques	67
IV.6.3.	Referee	67
IV.6.4.	Divers	67
IV.6.5.	Activités d'intérêt collectif	68
IV.7.	Production scientifique MAP 2	68
IV.7.1.	Articles dans des revues avec comité de lecture	68
IV.7.2.	Conférences invitées	70
IV.7.3.	Communications avec actes	71
IV.7.4.	Communications sans actes	74
IV.7.5.	Chapitres d'ouvrages scientifiques	75
IV.7.6.	Brevets	75
V -	ÉQUIPE PHYTI, RAPPORT SCIENTIFIQUE	77
V.1.	Déclaration succincte de politique scientifique	78
V.2.	Thèmes de recherche et résultats marquants	78
V.2.1.	Résumé des activités de 2002 au 01/06/ 2006	78
V.2.2.	Techniques statistiques de traitement d'images	79
V.2.3.	Optique statistique	82
V.2.4.	Applications aux images optroniques et radar	84
V.3.	Perspectives	86
V.3.1.	Techniques statistiques de traitement d'images	86
V.3.2.	Optique statistique	86
V.3.3.	Applications aux images optroniques et radar	86
V.3.4.	Conclusion sur les perspectives	87
V.4.	Relations internationales et rayonnement	87
V.4.1.	Contrat européen Eurofinder (Franco-Norvégien)	87
V.4.2.	Collaboration avec la société STARLAB de Barcelone	88

V.4.3.	Collaborations universitaires	88
V.4.4.	Publications de monographies en langue anglaise : 2	88
V.4.5.	Organisation de Conférences depuis 01 - 01 – 2002 :	88
V.4.6.	Activités auprès des Sociétés savantes internationales et des Revues Internationales	88
V.5.	Doctorants et thèses soutenues (2003-2006)	89
V.6.	Bilan financier (2003-2006)	90
V.7.	Valorisation et partenariats industriels	91
V.7.1.	Listes des contrats industriels	92
V.7.2.	La valorisation et le partenariat industriel.....	92
V.7.3.	Participation au GDR-PRC ISIS : (actions depuis janvier 2000).....	93
V.7.4.	Autres actions au sein de la communauté française.....	93
V.8.	Production scientifique PHYTI	93
V.8.1.	Publications dans des revues à comité de lecture.....	94
V.8.2.	Conférences invitées dans des congrès	97
V.8.3.	Proceedings à comité de lecture.....	97
V.8.4.	Séminaires, Workshops	101
V.8.5.	Chapitres dans les ouvrages	101
V.8.6.	Livres et ouvrages.....	101
V.8.7.	Brevet	101
V.8.8.	Autres	102
VI -	EQUIPE MOSAIC, RAPPORT SCIENTIFIQUE.....	103
VI.1.	Déclaration de politique scientifique	104
VI.2.	MOSAIC : quand la photonique rencontre le vivant.....	104
VI.3.	Résultats Marquants 2002-2006	104
VI.3.1.	Etude dynamique de l'architecture de la membrane biologique par microscopie de corrélation de fluorescence (FCS)	104
VI.3.2.	Micro et Nanostructures photoniques pour exalter les contrastes optiques	109
VI.3.3.	Microscopie sans marquage CARS.....	111
VI.3.4.	Micromanipulation par pinces optiques holographiques.....	112
VI.3.5.	Microstéréolithographie	113
VI.4.	Perspectives pour la période 2006-2010	113
VI.4.1.	Mécanique cellulaire dans l'embryon de drosophile	114
VI.4.2.	Spectroscopie de corrélation spatiale de fluorescence et signalisation cellulaire.....	114
VI.4.3.	Micro et Nanostructures photoniques.....	115
VI.4.4.	Façonnage d'impulsions temporelles pour l'imagerie non-linéaire cohérente.....	116
VI.4.5.	Contrôle spatio-temporel de stimuli sur des cellules individuelles vivantes	117
VI.5.	Relations internationales et rayonnement.....	117
VI.6.	Valorisation industrielle	118
VI.7.	Personnel de MOSAIC.....	119
VI.8.	Bilan financier	119
VI.9.	Doctorants MOSAIC.....	120
VI.10.	Production scientifique 2002-2006	120
VI.10.1.	Publications dans des revues à comité de lecture.....	120
VI.10.2.	Conférences invitées dans des congrès.....	121
VI.10.3.	Proceedings à comité de lecture.....	123
VI.10.4.	Publications dans des revues sans comité	123
VI.10.5.	Communications à des congrès, symposium	123

VI.10.6.	Séminaires, workshops	125
VI.10.7.	Chapitres dans les ouvrages.....	126
VI.10.8.	Livres et ouvrages.....	126
VI.10.9.	Brevets	126
VI.10.10.	Autres.....	126
VII - EQUIPE SEMO, RAPPORT SCIENTIFIQUE		127
VII.1.	Introduction	128
VII.2.	Imagerie et expérimentation microondes	128
VII.2.1.	Diffraction en configuration sphérique : développements expérimentaux et théoriques	128
VII.2.2.	Détection et caractérisation d'objets enfouis.....	131
VII.3.	Télédétection en milieu aléatoire.....	134
VII.4.	Imagerie optique à haute résolution en champ lointain	137
VII.4.1.	Objets en milieu homogène.....	138
VII.4.2.	Objets déposés sur un substrat. Configuration stratifiée.....	139
VII.4.3.	Objets déposés sur un substrat nanostructuré	140
VII.4.4.	Montage expérimental	141
VII.4.5.	Perspectives.....	142
VII.5.	Relations internationales et rayonnement.....	142
VII.6.	Doctorants et thèses soutenues.....	143
VII.6.1.	HdR soutenues	143
VII.6.2.	Thèses soutenues.....	143
VII.6.3.	Thèses en cours	143
VII.7.	Budget SEMO.....	144
VII.8.	Production Scientifique SEMO.....	145
VII.8.1.	Publications dans des revues à comité de lecture.....	145
VII.8.2.	Conférences invitées dans des congrès.....	147
VII.8.3.	Proceedings à comité de lecture.....	147
VII.8.4.	Communications à des congrès	148
VII.8.5.	Chapitres dans des ouvrages.....	149
VII.8.6.	Brevets	149
VIII - EQUIPE RCMO, RAPPORT SCIENTIFIQUE.....		151
VIII.1.	Introduction	152
VIII.2.	Modélisation.....	152
VIII.3.	Matériaux	152
VIII.3.1.	Matériaux photosensibles.....	152
VIII.3.2.	Propriétés thermo-optiques et opto-mécaniques des matériaux en couches minces	155
VIII.3.3.	Matériaux nano-composites.....	156
VIII.4.	Technologies	157
VIII.4.1.	Banc de mesure locale R&T	157
VIII.4.2.	Contrôle in situ large bande R&T	159
VIII.4.3.	Etude expérimentale des effets du passage air-vide.....	160
VIII.5.	Composants.....	161
VIII.5.1.	Absorbeurs de lumière	161
VIII.5.2.	Filtres linéairement variables	161
VIII.5.3.	Filtres allumettes.....	162
VIII.5.4.	Filtres à bande étroite	162
VIII.6.	Sujets transverses associés à des collaborations inter-équipes	165

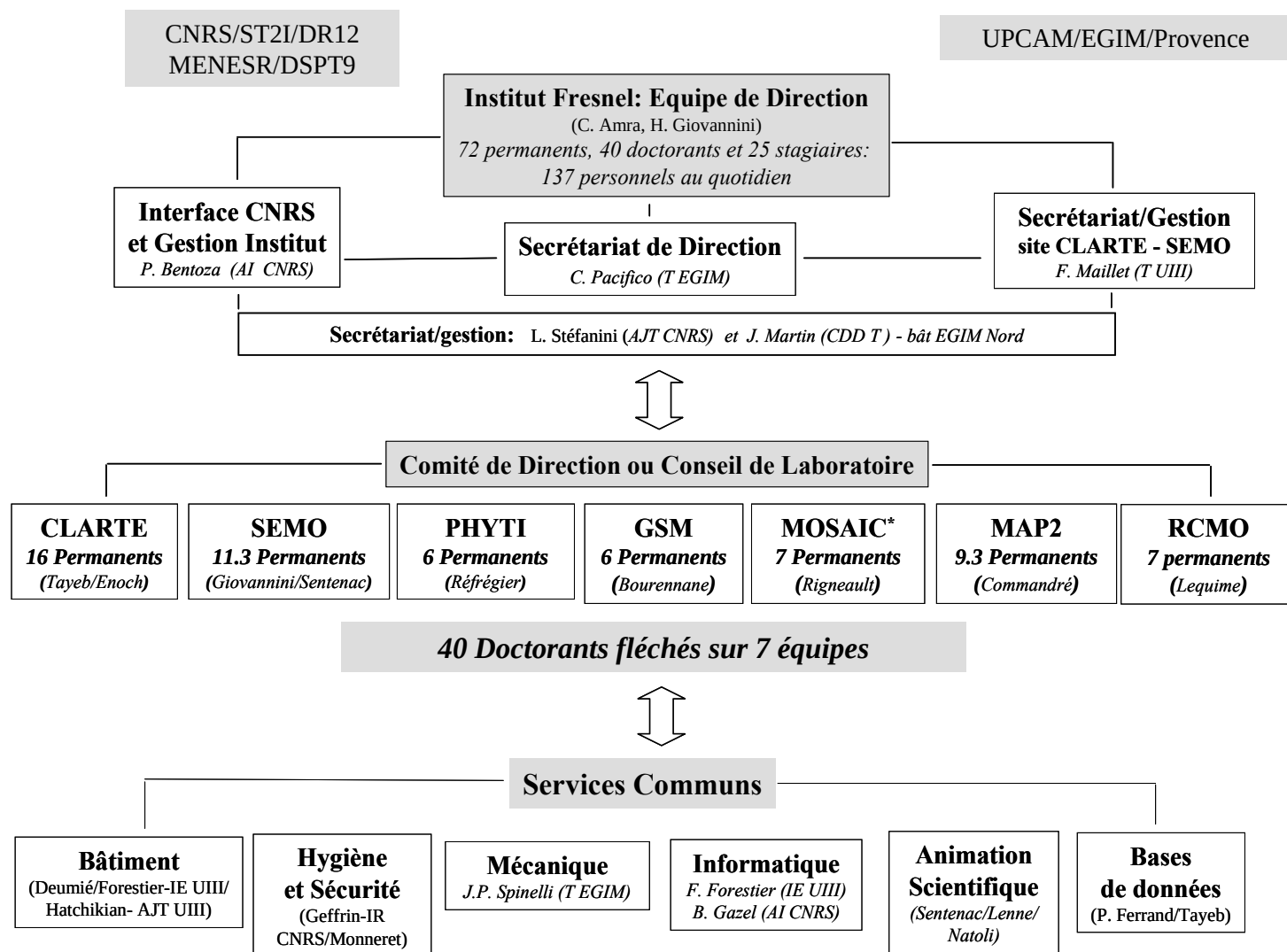
VIII.7.	Perspectives	165
VIII.8.	Relations internationales et rayonnement.....	166
VIII.9.	Doctorants RCMO	167
VIII.9.1.	Doctorants présents dans l'équipe.....	167
VIII.9.2.	Thèses en co-tutelle	167
VIII.9.3.	Thèses soutenues.....	167
VIII.10.	Bilan financier	168
VIII.10.1.	Ressources propres (Contrats industriels).....	168
VIII.10.2.	Subventions des Collectivités Territoriales	168
VIII.10.3.	Crédits récurrents	169
VIII.10.4.	Budget annuel	169
VIII.11.	Production scientifique RCMO	170
VIII.11.1.	Publications dans des revues à comité de lecture	170
VIII.11.2.	Conférences invitées dans des congrès.....	171
VIII.11.3.	Communications à des congrès, symposium.....	171
VIII.11.4.	Séminaires, workshops	173
IX - ÉQUIPE GSM, RAPPORT SCIENTIFIQUE		175
IX.1.	Déclaration succincte de politique scientifique.....	176
IX.2.	Résultats de recherche	176
IX.2.1.	Thème 1 – Traitement du signal tensoriel.....	177
IX.2.2.	Thème 2 – Traitement du signal multidimensionnel : reconstruction, détection, filtrage et segmentation	180
IX.2.3.	Thème 3 – Détection, suivi, reconnaissance et interprétation dans les séquences vidéo	185
IX.3.	Perspectives	187
IX.4.	Relations internationales et rayonnement.....	187
IX.5.	Permanents de l'équipe GSM	189
IX.6.	Coopérations industrielles et valorisation : dépôts de brevets, pôle de compétitivité.....	189
IX.7.	Doctorants GSM	190
IX.7.1.	HdR soutenue	190
IX.7.2.	Thèses soutenues.....	190
IX.7.3.	Thèses en cours	190
IX.8.	GSM : bilan financier	191
IX.8.1.	Subventions collectivités territoriales R3.....	191
IX.8.2.	Contrat de recherche référencé C.....	191
IX.8.3.	Crédits récurrents (2003-2006).....	191
IX.9.	Production scientifique GSM	192
IX.9.1.	Publications dans des revues à comité de lecture.....	192
IX.9.2.	Communications dans congrès internationaux avec comité de lecture et actes.....	193
IX.9.3.	Communications dans congrès francophones avec comité de lecture et actes	195
IX.9.4.	Séminaires et conférences invitées	196
IX.9.5.	Congrès sans comité de lecture avec actes	196
IX.9.6.	Editions	196
X - THEMATIQUE COM, RAPPORT SCIENTIFIQUE		197
X.1.	Résumé des travaux de recherche	198
X.2.	Composants d'optique intégrée	198
X.3.	Détecteurs optiques.....	199
X.3.1.	Antireflets structuraux pour les imageurs infra-rouge.....	199

X.3.2.	Microcapteurs optiques pour la détection des gaz	200
X.3.3.	Photopiles solaires organiques	201
X.4.	Perspectives de recherches pour le prochain quadriennal dans le cadre de l'équipe OPTO-PV (Composants pour l'Optoélectronique et le Photovoltaïque) du Laboratoire TECSEN (Université Paul Cézanne)	203
X.4.1.	Composants d'optique intégrée.....	203
X.4.2.	Détecteurs optiques :	203
X.5.	Thèses de doctorat et HDR	204
X.6.	Contrats	205
X.7.	Production scientifique	205
X.7.1.	Chapitres de livres	205
X.7.2.	Publications dans des revues avec comité de lecture.....	205
X.8.	Brevets	206
X.9.	Conférences invitées (exclusivement).....	207
XI -	COLLABORATIONS INTERNES (UMR 6133)	208
XI.1.	CLARTE/COM	208
XI.2.	CLARTE/SEMO	208
XI.3.	CLARTE/MOSAIC	208
XI.4.	CLARTE/RCMO	209
XI.5.	MOSAIC/RCMO	209
XI.6.	SEMO/MOSAIC	209
XI.7.	PHYTI/MOSAIC	209
XI.8.	PHYTI/SEMO.....	209
XI.9.	RCMO/MAP2.....	209
XI.10.	MAP2/CLARTE.....	210
XI.11.	GSM/MAP2.....	210
XI.12.	PHYTI/MAP2.....	210
XII -	BUDGET GENERAL DE L'INSTITUT (03-06)	213
XII.1.	Origine des Ressources Globales	213
XII.2.	Crédits Récurrents : CNRS et MENRT.....	214
XII.2.1.	Crédits récurrents : CNRS et MENRT.....	214
XII.2.2.	Fléchage des crédits récurrents sur les équipes	215
XII.3.	Budget Hors-Equipes d'Intérêt Collectif.....	217
XII.3.1.	Taxe Interne 3% : origine	217
XII.3.2.	Crédits de Direction Hors-Equipe	217
XII.4.	Dépenses récurrentes en fonctionnement général sur le site A	218
XII.5.	Soldes Généraux de l'Institut.....	219
XII.6.	Subventions par Chercheurs.....	220
XII.7.	Missions.....	220
XII.8.	Taxes par les établissements	221
XIII -	BUDGET DES EQUIPES	222
XIII.1.	Budget CLARTE 03-06.....	222
XIII.1.1.	Ressources CLARTE.....	222
XIII.1.2.	Soldes CLARTE	223
XIII.2.	Budget MAP2.....	224
XIII.2.1.	Ressources MAP2	224
XIII.2.2.	Soldes MAP2.....	226

XIII.3.	Budget PHYTI.....	228
XIII.3.1.	Ressources PHYTI	228
XIII.3.2.	Soldes PHYTI.....	229
XIII.4.	Budget MOSAIC.....	230
XIII.4.1.	Ressources MOSAIC.....	230
XIII.4.2.	Soldes MOSAIC	231
XIII.5.	Budget SEMO.....	232
XIII.5.1.	Ressources SEMO	232
XIII.5.2.	Soldes SEMO.....	233
XIII.6.	Budget RCMO	234
XIII.6.1.	Ressources RCMO	234
XIII.6.2.	Soldes RCMO	235
XIII.7.	Budget GSM.....	236
XIII.7.1.	Ressources GSM	236
XIII.7.2.	Soldes GSM.....	237
XIII.8.	Budget COM.....	238
XIII.8.1.	Ressources COM.....	238
XIII.8.2.	Soldes COM.....	239
XIV -	PLAN DE FORMATION DE L'INSTITUT	240
	Année 2005	240
	Année 2004	240
	Année 2003	241
XV -	GESTION DES CARRIERES	242
XV.1.	Cas des HDR.....	242
XV.2.	Cas des personnels ITA/IATOS	243
XVI -	BILAN DES RECRUTEMENTS.....	244
XVI.1.	Croissance des Ressources Humaines : Fresnel et Equipes	244
XVI.2.	Départs, reconductions et pertes	246
XVI.3.	Bilan Synthétique sur le recrutement (créations incluses)	248
XVI.4.	Mouvements Internes à l'UMR.....	251
XVI.5.	Politique des thèses	252
XVI.5.1.	Thèses soutenues.....	253
XVI.5.2.	Thèses en cours	255
XVII -	LES COMMISSIONS INTERNES A L'INSTITUT	256
XVIII -	MODE DE FONCTIONNEMENT INTERNE.....	257
XVIII.1.	Introduction	257
XVIII.2.	Répartition des Rôles	257
XVIII.2.1.	Direction de l'Institut	257
XVIII.2.2.	Responsables d'équipe.....	257
XVIII.2.3.	Services communs.....	258
XVIII.2.4.	Membres de l'Institut	258
XVIII.3.	Procédures administratives	258
XVIII.3.1.	Décisions amont.....	258
XVIII.3.2.	Circuit des signatures.....	258
XVIII.4.	Gestion des Flux Financiers	259
XVIII.5.	ARTT, congés, primes, personnel entrant	259
XVIII.6.	Hygiène et sécurité	260

XVIII.7.	Quelques Rendez-Vous annuels	260
XVIII.7.1.	Septembre-Décembre.....	260
XVIII.7.2.	Janvier-Mars	261
XVIII.7.3.	Mars-Juillet	261
XVIII.7.4.	Autres.....	261
XIX - RAPPORT HYGIENE ET SECURITE.....		262
XIX.1.	Bilan des accidents et incidents survenus dans l'unité et mesures prises	262
XIX.2.	Identification et analyse des risques spécifiques rencontrés dans l'unité	262
XIX.3.	Disposition mises en œuvre en fonction des risques. Priorités retenues	262
XIX.4.	Fonctionnement des structures d'hygiène et de sécurité	263
XIX.5.	Dispositions mises en œuvre pour la formation des personnels et notamment des nouveaux entrants	263
XIX.6.	Problèmes de sécurité qui subsistent et moyens envisagés pour les résoudre.....	263
XX - CONSEIL DE LABORATOIRE		264
XXI - DOCUMENTS DISPONIBLES SUR L'INTRANET FRESNEL.....		267
XXII - CONCLUSION ET PERSPECTIVES GENERALES.....		268
XXII.1.	Site unique	268
XXII.2.	Espace Photonique	270
XXII.3.	Label Carnot.....	272
XXII.4.	Master recherche	274
XXII.5.	Faiblesses de l'UMR, ou le contexte inter-Etablissement.....	274

I - ORGANIGRAMME



Organigramme au 01/11/06

*G. Tayeb a assuré la direction adjointe du laboratoire de 2005 à Septembre 2006

II - INTRODUCTION GENERALE

			EC*0,5 +		Budget 03-06 k€ HT
	Permanents	Doctorants	Chercheurs	RICL 02-06	
UMR	74,7	40	36,45	287	9021

« Effectifs » au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	Service Commun	S.C. %	Date d'arrivée dans l'UMR
MAILLET Françoise	UPCAM	IATOS	Adm./Gestion (site B)	1	sept-01
BENTOZA Patricia	CNRS	ITA	Gestion	1	janv-98
HATCHIKIAN Alex	UPCAM	IATOS	Bâtiment	1	nov-05
GAZEL Béatrice	CNRS	ITA	Informatique	1	déc-05
SPINELLI Jean-Pierre	EGIM	IATOS	Mécanique	1	sept-02
PACIFICO Corinne	EGIM	IATOS	Adm.	1	sept-04
STEFANNINI Laure	CNRS	ITA	Gestion	1	oct-02
MARTIN Josiane*	fonds propres (Fresnel)	contractuelle (CDD)	Gestion	1	janv-96
AMRA Claude	CNRS	Chercheur	Direction	0,7	janv-86
Total				8,7	

UMR 6133 : Personnels affectés aux services d'intérêt général

L'UMR 6133 a bénéficié en 1999 d'une forte dynamique portée par la spontanéité du projet « Institut Fresnel », fusion de 3 laboratoires d'excellence sur le campus de Marseille Nord, dans les domaines de l'optique, l'électromagnétisme et l'image. Il n'aura pas fallu longtemps au laboratoire pour bénéficier d'une image de marque basée sur l'innovation de sa production scientifique : fibres photoniques et méta-matériaux, segmentation active et traitement multidimensionnel, reconstruction électromagnétique et micro-ondes, endommagement laser et bio-photonique, milieux aléatoires et filtres à verrouillage de phase..., autant de thématiques qui ont rapidement émergé sur la scène internationale. Le premier quadriennal (99-02) aura ainsi permis au laboratoire :

- de s'ancrer dans le *tissu recherche académique*, national et européen (Groupements de Recherche, Réseaux Thématiques Pluridisciplinaires, Equipes Projets Multi-Laboratoires, Actions Coordonnées Incitatrices, Projets d'Action Intégrée, Réseaux d'Excellence...)
- de dynamiser la *recherche partenariale* en Région (génération de 4 start-up, transferts de technologie, co-fondation de Pop Sud, implication CREMSI...)
- de pérenniser le *label des équipes* sur la scène internationale (272 revues internationales à comité de lecture)
- de favoriser l'*émergence de jeunes talents* (médaille de bronze CNRS, prix du doctorant de la ville de Marseille...)
- de confirmer le *talent des seniors* (médaille Blondel, prix du rayonnement international de la ville de Marseille...)
- de participer à la stratégie scientifique, politique et économique des *établissements et institutionnels* d'Aix-Marseille

Globalement les effectifs et le budget seront passés respectivement de 48 à 63 *permanents*, et de 850 k€ HT à 2874 k€ HT au cours de ce premier quadriennal. A l'issue de cette période, l'UMR était ainsi positionnée comme l'un des barycentres émergents de l'optique française, avec une production scientifique bien établie.

C'est dans un contexte différent que le deuxième quadriennal 03-06 a été abordé, avec comme priorités la *confirmation et stabilisation* de la place de l'UMR dans la compétition mondiale, et la *professionnalisation* du mode de fonctionnement interne. Il s'agissait en effet de positionner définitivement l'Institut dans le cercle des grands laboratoires français de la Photonique et de l'Image, tout en faisant face à une croissance forte en effectifs et flux financiers.

L'objectif majeur a donc été le *site unique* qui faisait défaut à l'Institut depuis sa création, et dont l'absence constituait un frein aux synergies scientifiques internes et à l'optimisation des moyens logistiques. Par ailleurs, l'absence de site unique privait l'UMR et PACA d'une *vitrine* pour la photonique. Ce dossier a été concrétisé en Juillet 2005 grâce au soutien des Universités et du Rectorat, qui ont conféré au laboratoire le bénéfice d'un site unique dans l'ex-bâtiment ENSPM/EGIM-Nord. Cette décision nous a permis d'initier la recherche de financements pour la réhabilitation du site, et a conduit à l'*aménagement d'un étage complet* dès le mois de Décembre 2005. La phase finale des travaux a été retardée par l'échec d'un projet FEDER (400k€ d'abondement) promis mais non abouti en Juillet 2006, mais qui devrait déboucher courant 2007. Dans l'attente ou l'incertitude, un appel d'offres vient d'être lancé par le laboratoire pour accueillir la totalité des personnels de l'UMR avant le mois de Juin 2007, dans des conditions plus modestes.

Toutefois le bénéfice du site unique ne résoudra pas les problèmes de croissance de l'UMR à moyen terme (7-15 ans), et c'est pourquoi nous avons élaboré un projet d'« Espace Photonique » qui devrait accueillir à terme et *en salle grise* l'ensemble des technologies disponibles au laboratoire, pour un gain notable de place et de lisibilité. Cet *espace photonique* sera installé à proximité immédiate du bâtiment Fresnel (20 mètres) dans un atelier à rénover, et son financement a été inscrit dans le Contrat de Plan Etat-Région 07-13 (7 M€ de rénovation, 6,5 M€ d'équipements).

Enfin, la lisibilité de la photonique a été accrue en PACA grâce au Groupement d'Intérêt Scientifique « *Photonique et Instrumentation Avancée* » que nous avons créé en octobre 2005 avec le laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM/U1/SDU) et le laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques (LP3/UII/SPI). Ce GIS rassemble aujourd'hui la quasi-totalité des forces académiques de la photonique sur Marseille (150 chercheurs, 300 personnels et 17 plateformes), et nous aura permis de positionner notre politique scientifique dans le cadre du pôle de compétitivité

« Systèmes Complexes d'Optique et d'Imagerie » récemment créé. Des projets scientifiques d'envergure sont déjà nés de ce GIS, comme le projet FESTIC (*FEmtoSecond laser Trimming of optical Interference Coatings*) ou les filtres à suppression de raies OH, les Fabry-Pérot à Balayage, le Contrôle Spatio-Temporel de Faisceaux Lasers, le Conditionnement Laser des Composants Optiques...

Les ressources propres de l'Institut en 2005 étant de l'ordre de 20% du budget consolidé, le GIS « Photonique » est naturellement amené en Octobre 2006 à candidater à un label Carnot.

Enfin, le Master Recherche spécialité « Optique et Traitement des Images », dont se nourrit en priorité le laboratoire, devrait s'adosser au GIS P.I.A. pour le prochain quadriennal. Ce *contexte mutualisé* offre ainsi à la *communauté photonique marseillaise* la possibilité de développer des projets de recherche au quotidien, sans être gênée par une appartenance aux différents sites, établissements de rattachement ou laboratoires. De façon plus générale, les laboratoires fondateurs du GIS partagent un ensemble d'informations (campagne de recrutement auprès des établissements, demande de moyens Labintel, projets soumis au pôle de compétitivité et à l'ANR, ateliers thématiques, CPER...) qui vont dans le sens de la synergie et de la pérennisation.

Du point de vue du mode de fonctionnement interne, il a fallu faire face à la croissance des effectifs (à ce jour *130 personnels au quotidien*, dont 72 permanents et 40 doctorants) et à la jeunesse de ces effectifs, ainsi qu'à la croissance du budget (*10M€ sur le quadriennal*). Un effort notable a été consenti pour *dimensionner correctement les services communs* de l'UMR (gestion, administration, informatique, mécanique et entretien du bâtiment), portés à 7 personnels en 2006 grâce au soutien du CNRS et de l'université Paul Cézanne. Une meilleure centralisation de ces moyens a vu le jour, en plus de la mise en ligne sur l'intranet de l'UMR de l'ensemble des bases de données: déclaration des flux financiers entrants, des nouveaux personnels, de la production scientifique, des missions, des comptes de la direction, du fléchage des budgets d'intérêt général, de l'encadrement des thèses, des textes fondateurs des commissions... Enfin, des *commissions internes* (Hygiène et Sécurité, Informatique, Animation Scientifique) ont été créées pour un *gain en professionnalisation* devenu indispensable dans le contexte du site unique, en particulier pour la sécurité.

Il nous fallait également, pour ancrer/sécuriser les différentes équipes de l'Institut dans un contexte inter-établissement difficile, fléchier au moins un personnel CNRS dans chacune de ces équipes. Cet objectif est désormais pratiquement atteint, si l'on en juge du recrutement d'un CR2 en section 07, et de 2 ingénieurs de recherche (ITA et IATOS) pour épauler deux équipes d'expérimentateurs (MOSAIC/MAP2). Ce constat n'est cependant pas suffisant et il nous faudra à terme parvenir à fléchier au moins un chercheur CNRS dans chaque équipe de l'Institut. Cette réserve ne doit pas passer sous silence l'effort du CNRS qui a porté ses effectifs à 12 chercheurs et 9 ITA dans l'UMR, ce qui est une situation nouvelle et fort positive !

La *gestion des ressources humaines* n'a pas non plus été négligée, puisqu'on ne décompte à ce jour aucun retard de carrière chez les personnels ITA. Du côté des HDR, le bilan indique que l'ensemble des personnels a bénéficié d'un *grade Pr moins de 6 années* après la soutenance de l'HDR, sans exception. Ce constat positif (HDR et ITA) ne doit cependant pas faire oublier l'extrême difficulté d'arriver à aider les *personnels IATOS* dans leur progression de carrière (dossier à l'étude).

Enfin, la production scientifique (287 RICL) a bénéficié d'un budget de l'ordre de 10M€ sur le quadriennal, conférant ainsi aux chercheurs des conditions de travail (équipements, post-doc et CDD) plus que convenables. La pluridisciplinarité a été accrue, notamment grâce aux 2 *laboratoires* aux interfaces de la biologie et la microélectronique, où se sont *mêlés* biophotonique et plasmonique, signal et biométrie, imageurs, composants diffractifs et endommagement laser, imagerie polarimétrique et ellipsométrie, microélectronique et diffusion lumineuse, couches minces et méta-matériaux, nouvelles microscopies et vivant... On retiendra de façon plus générale :

- que l'innovation dans le domaine des méta-matériaux a bénéficié d'un soutien net, concrétisé par le recrutement de 3 chercheurs CNRS (2 CR2 et 1 CR1) au sein de l'équipe CLARTE
- les efforts notables qui ont été consentis pour accélérer le développement de la bio-photonique (3 chercheurs au précédent quadriennal), l'équipe MOSAIC rassemblant aujourd'hui 5 personnels CNRS (dont 1 personnel ITA) et 2 enseignants-chercheurs.
- La croissance des effectifs de la section 61/07 portés aujourd'hui à 12 personnels, ancrant plus encore le Traitement des Images et des Signaux dans le laboratoire (équipes PHYTI et GSM).

Cet effort a été appuyé par le CNRS en 2005 via le recrutement d'un chargé de recherche (CR2).

- L'équipe SEMO a bénéficié d'un soutien régional fort pour porter plus avant les micro-ondes, tout en ouvrant de nouveaux champs vers l'agriculture et recentrant ses thématiques vers la microscopie haute résolution
- La tenue au flux des composants optiques (équipe MAP2) a désormais pris une place considérable dans le tissu recherche national et international, académique et industriel, en plus d'une ouverture vers l'imagerie en milieu diffusant
- Enfin, l'équipe RCMO, cœur technologique du laboratoire, a développé un partenariat fort avec le secteur de l'Astronomie et du Spatial, tout en initiant des recherches fondamentales sur les thématiques les plus en pointe du filtrage optique (filtres accordables, filtres photosensibles, filtres variables, structuration 2D).

On trouvera dans la suite de ce document un bilan plus détaillé des activités scientifiques de l'UMR, équipe par équipe. En résumé, nous devrions pouvoir afficher avant l'été 2007 et au vu de ce bilan annoncé, un *régime de croisière* pour l'Institut (site unique, professionnalisation et label Carnot...) pour une production scientifique encore plus axée sur l'innovation.

Vision « quantitative » de l'UMR et ses équipes: effectifs au 01/10/06, RICL sur la période 02-06 et budget sur la période 03-06*

Ce tableau est donné par souci de rigueur quantitative, *avec une pertinence évidemment limitée*. En particulier les effectifs en doctorants et en post-docs dans les différentes équipes ne sont pas pris en compte.

** Le laboratoire ayant été évalué lors du quadriennal précédent en octobre 2002, il a été décidé de faire figurer dans ce rapport les données quantitatives concernant les RICL en commençant en 2002.*

	Responsables	Effectifs	dont enseignants chercheurs	dont chercheurs	RICL	RICL/H.A.	Budget (k€ HT)	dont ressources propres (k€ HT)
CLARTE	Tayeb/Enoch	16	9,5	5,5	85	2,6	497	234
MAP2	Commandré	8,6	7,3	0,3	34	2,2	4344	415
PHYTI	Réfrégier	6	5	1	36	4,7	92	46
MOSAIC	Rigneault	7	2	4	24	1,9	975	0
SEMO	Giovannini/ Sentenac	10,8	8,5	0,5	44	2,1	433	86
RCMO	Lequime	7	4	0	21	3,1	351	337
GSM	Bourennane	8	6	0	25	2,2	861	36
Thématique COM	Flory/Escoubas	4	4	0	19	2,3	399	95
Services Communs	Administration, Gestion, Informatique, Mécanique	6,3	x	x	x	x	1069 (récurrent inclus)	x
UMR	Amra, Tayeb	71,7	46,3	11,3	301	2,5	9021	1249

***Vision « quantitative » de l'UMR et ses équipes: effectifs au 01/10/06,
RICL sur la période 02-06 et budget sur la période 03-06***

** H.A. (hommes années) désigne le temps effectif recherche 02-04 calculé en fonction de la date des entrants, de leur statut (0,5 pour les EC, 1 pour les chercheurs) et de leur affectation recherche (% dans l'équipe)*

RAPPORTS SCIENTIFIQUES PAR EQUIPES

III - ÉQUIPE CLARTE, RAPPORT SCIENTIFIQUE

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
CLARTE	10,25	85	497

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	clarte %	Date d'arrivée dans l'équipe
CHAUMET Patrick	U3 / IUT	Ens-chercheur	0,5	sept-00
FEHREMBACH Anne-Laure	U1	Ens-chercheur	1	sept-04
POPOV Evgueni	U1	Ens-chercheur	1	sept-00
GUENNEAU Sébastien	CNRS	Chercheur	1	sept-05
STOUT Brian	U1	Ens-chercheur	1	nov-00
ENOCH Stefan CNRS	CNRS	Chercheur	1	oct-01
GRALAK Boris	CNRS	Chercheur	1	oct-04
BONOD	CNRS	Chercheur	1	sept-06
NICOLET André	U3	Ens-chercheur	0,5	janv-00
BITTEBIERRE Jean	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-05
FORESTIER Frédéric	U3	ITA-IATOS	0,5	sept-00
MAYSTRE Daniel	CNRS	Chercheur	1	janv-76
NEVIERE Michel	U1 (IUF)	Ens-chercheur	1	janv-76
VINCENT Patrick	U3	Ens-chercheur	0,5	janv-76
SENTENAC Anne	CNRS	Chercheur	0,5	nov-97
TAYEB Gérard	U3	Ens-chercheur	1	sept-89
ZOLLA Frédéric	U1	Ens-chercheur	1	oct-89
RENVERSEZ Gilles	U3	Ens-chercheur	1	sept-99
GEFFRIN Jean-Michel	CNRS	ITA-IATOS	0,5	sept-02
Total servant au calcul de la répartition des crédits			16	

CLARTE : Effectifs au 01/11/06

III.1. Introduction

Les activités de l'équipe CLARTÉ s'inscrivent au cœur d'une discipline-clé du champ des technologies innovantes de ce début du XXI^{ème} siècle: la nanophotonique. Partie constituante des nanosciences et nanotechnologies, la nanophotonique vise à optimiser et à miniaturiser les composants photoniques et les sources de lumière. Les applications forment un large éventail incluant entre autres les télécommunications, la conception de sources et de guides de lumière, le contrôle de la propagation des photons, l'analyse spectrale et le filtrage du rayonnement, l'interaction lumière-particules.

Ancrée dans les nouvelles technologies, l'équipe n'en est pas moins forte, et cela constitue un de ses atouts majeurs, d'une expérience de près de quarante années dans un domaine scientifique qu'elle a créé et largement contribué à développer: l'Optique Électromagnétique. Aujourd'hui largement répandue dans le monde, l'Optique Électromagnétique se propose d'explorer les phénomènes optiques au moyen des équations fondamentales de l'Électromagnétisme. Pour ce faire, elle emprunte des outils variés s'étendant des mathématiques appliquées à la phénoménologie (art d'interpréter les phénomènes à travers un nombre minimal de paramètres physiques) en passant par l'analyse numérique, la programmation, le calcul numérique. Autrement dit, l'élaboration d'outils de modélisation sophistiqués nous donne les moyens de prévoir précisément et de traquer les phénomènes souvent surprenants rencontrés en photonique. La phénoménologie, qui s'efforce de traduire l'intuition physique en termes mathématiques, nous permet ensuite ce qu'un ordinateur est totalement incapable de faire: donner une interprétation physique aux résultats numériques, voire, en poussant plus loin, découvrir de nouveaux phénomènes et envisager leurs applications pratiques.

Les activités de l'équipe CLARTÉ (Contrôle de la Lumière et Analyse du Rayonnement: Traitement Électromagnétique) couvrent un large domaine allant du fondamental aux applications, et de la théorie à l'expérimental. En effet, le cœur de nos activités se situe dans le domaine de la modélisation et de l'analyse phénoménologique, et se nourrit d'interactions avec des expérimentateurs, des industriels, des physiciens théoriciens, et des mathématiciens.

III.2. Fibres optiques

Ces nouveaux guides de lumière permettent, grâce à une microstructuration, de contrôler la dispersion et la densité d'énergie dans la fibre [61,74,75,113,164]. Ils peuvent ainsi exacerber les effets non-linéaires ou, tout au contraire, les atténuer. En fonction de leurs caractéristiques géométriques et matérielles, ces fibres microstructurées peuvent être utilisées aussi bien dans l'ultra-violet que dans l'infrarouge lointain.

La période 2003-2006 a permis de concrétiser les travaux initiés lors du précédent quadriennal et de publier en 2005, la seconde monographie entièrement consacrée aux fibres optiques microstructurées [164].

III.2.1. Propriétés linéaires des fibres optiques microstructurées

Dans un premier temps nous nous sommes intéressés aux propriétés de contrôle de la dispersion chromatique des fibres microstructurées à cœur plein constituées d'inclusion de bas indice (simples trous la plupart du temps). Du fait de leur vaste espace des paramètres (on peut en effet jouer sur la position et la forme des inclusions, ainsi que sur leur indice de réfraction), ces fibres offrent des possibilités inégalées. En utilisant la méthode multipolaire [76,83] que nous avons développée avec l'équipe du Prof. Ross McPhedran de l'Université de Sydney, nous avons décrit pour des structures génériques, c'est-à-dire faisant intervenir des inclusions de diamètres identiques, les propriétés de dispersion chromatique [63]. Il s'est

avéré que ces structures ne permettaient pas d'obtenir simultanément de faibles pertes de guidage et une dispersion chromatique ultra plate autour de $1.55\ \mu\text{m}$, nous avons donc proposé un nouveau profil de fibres microstructurées, faisant intervenir des inclusions de diamètres différents, assurant conjointement ces deux propriétés [64]. Ce profil innovant a été conçu afin d'être réalisable avec les contraintes actuelles de fabrication des fibres microstructurées.

Outre leur capacité de contrôle de la dispersion chromatique, les fibres optiques microstructurées peuvent assurer une propagation monomode pour une très grande plage de longueurs d'onde. Nous avons pu établir, à la fois numériquement pour le cas vectoriel et semi-analytiquement dans le cas scalaire, la limite du régime de fonctionnement monomode de ces fibres et ceci pour tous les contrastes d'indice possibles entre la matrice vitreuse et les inclusions de bas indice (voir Fig. 1).

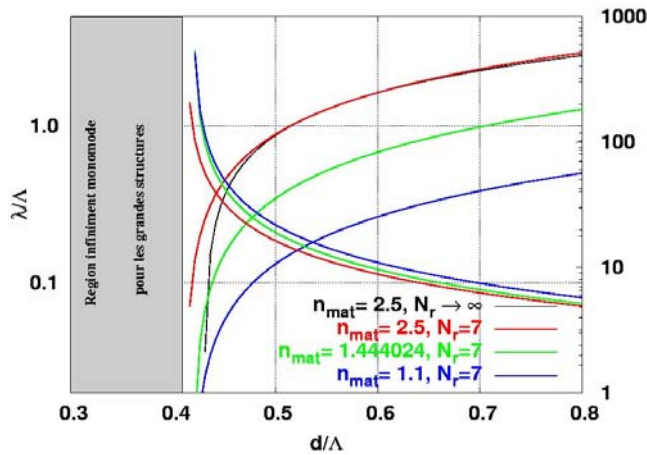


Fig. 1: Diagramme de transition du second mode des fibres optiques microstructurées pour différentes valeurs de l'indice optique de la matrice n_{mat} , N_r est le nombre de couches d'inclusions (échelle de gauche). Loi d'échelle unifiant les trois courbes (échelle de droite)

Nous avons ainsi déterminé la limite du fonctionnement « infiniment » monomode. Cette limite est indépendante du contraste d'indice dans la limite de structures de taille infinie (le nombre couches d'inclusions entourant le cœur tend vers l'infini) [33]. Cette propriété constitue un résultat important pour les fibres en verre de chalcogénure (n voisin de 2.5) actuellement réalisées par le regroupement du Laboratoire des Verres et Céramiques de Rennes (UMR 6512) et de PERFOS basée à Lannion avec qui nous collaborons (F. Smektala, N. Traynor). Nous avons ainsi pu proposer des profils de fibres microstructurées qui ont été fabriquées par nos collègues de Bretagne et pu comparer avec succès nos modélisations avec les mesures réalisées sur ces fibres à partir des données acquises par l'UMR 6082 FOTON (T. Chartier). Il s'agit là d'une première mondiale (voir Fig. 2) [4].

La collaboration avec le LVC et PERFOS est désormais soutenue par un contrat DGA de type exploratoire de 30 mois qui doit notamment permettre le recrutement d'un post-doctorant en modélisation pour une durée de deux ans.

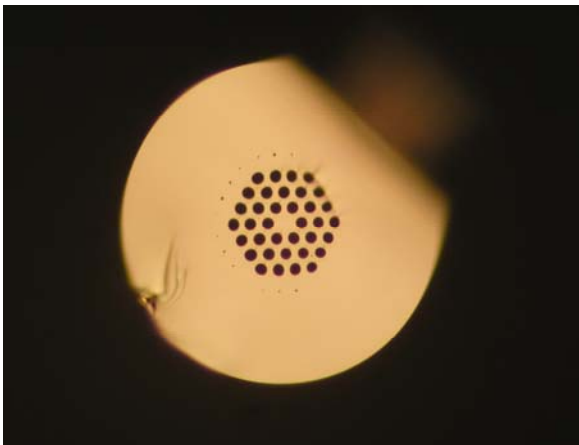


Fig. 2: Fibre optique microstructurée en verre de chalcogénure (2S2G) conçue à l'Institut Fresnel et réalisée au Laboratoire des Verres et Céramiques de Rennes

Par ailleurs, nous avons pu vérifier que nos prévisions concernant la longueur d'onde de transition monomode / multimode dans les fibres microstructurées à cœur plein étaient en très bon accord avec des mesures faites sur des fibres en silice à trous d'air fabriquées par Alcatel Marcoussis et caractérisées par nos collègues de l'X-Lim (D. Pagnoux) [8].

Nous collaborons aussi avec l'IRCICA de l'Université de Lille (G. Bouwmans, M. Douay) sur des fibres microstructurées à bandes interdites photoniques (BIP) où les inclusions ont un indice de réfraction plus élevé que la matrice de la fibre: la fibre a un cœur plein mais d'indice plus faible que la région qui l'entoure. On parle aussi de fibres microstructurées de type ARROW. Cette collaboration nous a conduit à proposer une nouvelle interprétation du guidage au sein de ces fibres à BIP faisant intervenir des anti-croisements entre modes à fuites [11]. Ce travail a permis de mieux comprendre certaines parties des spectres de transmission acquis par nos collègues de Lille. L'étude conjointe de ces fibres microstructurées de type ARROW se poursuit car d'autres observations restent néanmoins à expliquer.

Développement de méthodes numériques adaptées

Nous avons mis au point une nouvelle méthode basée sur la méthode différentielle, qui permet de dépasser les limitations de la méthode multipolaire, développée et mise en oeuvre 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. Elle permettra aussi de traiter des configurations où les inclusions et la matrice sont anisotropes. La contrepartie est bien évidemment un temps de calcul plus long.

Dans le but de disposer des outils de modélisation les plus souples et les plus performants, nous avons également étendu une méthode de type éléments finis à la recherche des modes à pertes dans les fibres optiques microstructurées. Ce travail, qui se poursuit, est réalisé en étroite collaboration avec le Prof. C. Geuzaine de l'Université Case Western Reserve de Cleveland. Nous sommes ainsi, à notre connaissance, le seul laboratoire maîtrisant trois méthodes numériques complémentaires et performantes pour l'étude modale des fibres microstructurées [164].

III.2.2. Nonlinéarités dans les fibres microstructurées

Depuis un an environ, toujours en collaboration avec le Prof. C. Geuzaine, nous avons entrepris l'étude des non-linéarités dans les fibres optiques microstructurées. Notre approche numérique est basée sur la méthode des éléments finis mentionnée dans le paragraphe précédent. Un travail important a été consacré à l'adaptation de ce formalisme au cas non linéaire: notre approche est basée sur un algorithme original permettant de déterminer l'amplitude des solutions particulières nonlinéaires ainsi que sur l'utilisation d'un maillage auto-adaptatif automatique.

Nous avons ainsi obtenu et étudié pour la première fois, en tenant compte de la taille finie de la structure et dans une approche scalaire, des solutions de type solitons spatiaux d'ordres 1 et 2, qui montrent une dispersion «modale» ultra plate sur une large bande spectrale.

Ce travail entre dans le cadre d'une collaboration avec collaboration avec le Prof. A. Ferrando de l'Université de Valencia (programme Egide Picasso 11459XM).

III.2.3. Fibres torsadées

La torsion incontrôlée des fibres microstructurées créée lors du processus de fabrication ou lors de leur utilisation nous a amené à développer des modèles spécifiques pour les guides d'onde hélicoïdaux (appelés aussi torsadés). Le modèle repose sur l'utilisation d'un système de coordonnées hélicoïdal qui est obtenu à partir d'axes cartésiens en tournant deux des axes (disons x et y) dans leur plan commun d'un angle proportionnel à la position de ce plan le long du troisième axe (disons z). On peut montrer que tout

changement de coordonnées (et, en général, toute transformation géométrique) peut être intégré dans les équations de l'électromagnétisme sous forme de matériaux équivalents (permittivité et perméabilité) qui sont toutefois, la plupart du temps, anisotropes et inhomogènes. Dans le cas des coordonnées hélicoïdales, une propriété remarquable est que les caractéristiques des matériaux équivalents sont indépendantes de z [9,45]. On peut donc ainsi définir des modes de propagation dans le système torsadé dont le calcul se réduit à la détermination de champs bidimensionnels. Le caractère inhomogène et anisotrope des matériaux impliqués peut sembler difficile à gérer mais il n'est en fait pas un véritable obstacle pour la méthode des éléments finis qui est une de celles que nous avons développées pour modéliser les fibres microstructurées. Nous disposons ainsi d'un outil flexible pour la prise en compte de la torsion des fibres.

En pratique, nous sommes cependant confrontés à des types de problèmes peu étudiés dans la littérature. En effet, notre approche conduit à des problèmes aux valeurs propres quadratiques plus délicats à résoudre que les classiques problèmes linéaires généralisés. A cet effet, nous avons développé un algorithme permettant la résolution de tels problèmes et dont les performances numériques sont en cours de vérification. Ceci doit bien sûr être fait dans le cadre du calcul de valeurs propres complexes pour le cas des modes à pertes. Ces modes à pertes jouant un rôle fondamental dans la théorie des fibres microstructurées, nous envisageons d'introduire également les PML (sous forme de "PML cylindriques hélicoïdales") pour déterminer les parties imaginaires des constantes de propagation des modes dans le cas torsadé. Nous conjecturons que cette partie imaginaire est plus sensible à la torsion que la partie réelle, ce qui expliquerait la dégradation des performances des fibres constatée en présence de faibles torsions.

Pour les cas pratiques impliquant de très faibles torsions, nous avons commencé à développer, en collaboration avec le Prof. A. Movchan de l'Université de Liverpool, un modèle asymptotique. Les premiers résultats sur un modèle scalaire simplifié sont encourageants.

III.2.4. Diffusion Brillouin

Notre équipe a développé en collaboration étroite avec l'équipe d'Alexander Movchan de l'Université de Liverpool des algorithmes numériques (éléments finis et variante de la méthode multipolaire) et des outils asymptotiques pour l'étude du couplage entre les ondes électromagnétiques et élastodynamiques dans les fibres microstructurées.

Nous avons découvert que les vitesses des ondes de pression et de cisaillement étant bien distinctes, on observe deux fréquences de coupure en incidence oblique qui induisent un régime de fréquences où les ondes de cisaillement se propagent dans le matériau composite alors que les ondes de pression sont évanescentes. Ce sont des ondes de surface de type vertex, observées auparavant notamment en élastodynamique non-linéaire (par exemple durant les séismes).

Nous avons par ailleurs étudié la localisation du son dans les fibres microperforées en créant un ou plusieurs défauts dans la structure périodique. Nos résultats numériques ont été validés par des expériences menées par l'équipe de Philip Russell (Université de Bath). Pour mieux comprendre les mécanismes de couplage entre les ondes lumineuses et sonores, une étude asymptotique des équations de Maxwell et Navier couplées dans des structures fines est menée entre Marseille et Liverpool depuis 2002, avec le soutien financier du British Council en 2005-2006 (projet Egide PN 05.026). Notre travail de recherche a par ailleurs donné lieu à un dépôt de brevet européen déposé par l'Université de Liverpool sur des interrupteurs photo-élastiques ultra-rapides (nano-sec) dans les fibres microstructurées.

III.3. Métamatériaux et cristaux photoniques

III.3.1. Métamatériaux

Les métamatériaux sont des matériaux composites qui simulent des matériaux homogènes 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). Ces matériaux composites sont souvent composés d'un arrangement périodique de structures élémentaires dont la taille est soit très inférieure à la longueur d'onde (domaine d'homogénéisation) [41,42,67], soit du même ordre de grandeur que celle-ci (domaine de résonance).

La thématique des métamatériaux est étudiée selon trois axes. Le premier axe, d'ordre technique, peut se résumer à l'élaboration de méthodes et de codes numériques performants permettant d'obtenir la fonction de Green en présence de structures 3D. Le deuxième axe se concentre sur l'étude de lentille plate en cristal photonique. Le troisième axe consiste à concevoir de nouvelles applications potentielles, en particulier le coin parfait.

III.3.1.1. Calcul de la fonction de Green en présence de structures 3D

D'un point de vue purement classique, la fonction de Green est le champ électromagnétique rayonné par une source de courant ponctuelle. Le calcul de cette fonction permet de modéliser fidèlement l'expérience de la lentille parfaite. De plus, il est possible de déduire de la fonction de Green la densité d'état locale électromagnétique (EMLDOS) qui donne accès à la puissance émise par une source lumineuse.

L'élaboration de méthodes et de codes numériques performants permettant d'obtenir la fonction de Green n'est toujours pas totalement aboutie dans le cas 3D à cause des ressources informatiques déraisonnables que cela demanderait avec les techniques habituelles. Cependant, des étapes essentielles ont été réalisées. La méthode des matrices de transfert adaptée au calcul de la fonction de Green a été élaborée puis programmée dans les cas 1D [25] et 2D [s1]. Dans le cas 2D, il est désormais possible de calculer la fonction de Green en présence d'une lentille plate en cristal photonique constitué de trous dans une matrice diélectrique [50,s2]. La méthode des valeurs propres et fonctions propres exactes généralisée aux structures "tas de bois" 3D a été validée expérimentalement [60,56]. Cette méthode est extrêmement efficace puisqu'elle permet de traiter des structures "tas de bois" 3D avec des temps de calculs comparables au cas 2D. Elle constitue donc le socle d'une méthode qui permettra d'obtenir la fonction de Green 3D. Dans ce cas, les dernières difficultés persistantes sont la prise en compte du caractère vectoriel de la source et le contournement des résonances dans le plan complexe. Ces difficultés sont au centre d'une collaboration entre l'Institut Fresnel et le laboratoire AMOLF du FOM-Institute (Amsterdam, Pays-Bas) dans le cadre du réseau d'excellence européen PHOREMOST.

Outre l'étude du coin parfait que nous détaillerons plus tard, ce calcul nous a permis de fournir des arguments théoriques montrant que c'est effectivement la EMLDOS qui a été mesurée au Laboratoire d'Optique Physique de l'ESPCI en présence d'une tige d'or [s1].

III.3.1.2. Étude de la lentille plate en cristal photonique

Suite à l'idée de la lentille parfaite proposée par Pendry, une étude théorique rigoureuse [44] a permis de montrer non seulement les mécanismes à l'origine de la résolution infinie mais aussi leurs limites dues aux microstructurations, à la dispersion et à l'absorption.

Nous avons fait le choix de nous concentrer sur l'étude des lentilles plates en cristal photonique diélectrique afin de nous affranchir de l'absorption que présentent des structures métalliques pour les longueurs d'onde de l'optique. L'objectif est ici de trouver une lentille plate permettant la meilleure résolution possible. Ce travail se place dans le cadre du projet Comédies soumis au programme PNANO

de l'ANR, et qui regroupe des équipes d'expérimentateurs et de théoriciens: LPUB, univ. de Bourgogne ; IEMN Lille ; GES Montpellier ; SiNaPS (CEA, Grenoble) ; LPCES (Orsay) ; Institut Fresnel.

Le concept général d'indice effectif négatif dans les cristaux photoniques peut être séparé en deux phénomènes distincts. Le phénomène de réfraction négative qui est déterminé par la relation de dispersion dans le cristal, et le couplage au niveau de l'interface séparant le cristal photonique du milieu extérieur qui est déterminé par la terminaison du cristal (i.e., position, au sein de la période du cristal, de l'interface qui "termine" le cristal).

Cristaux photoniques 1D : possibilité d'obtenir simultanément une permittivité et une perméabilité égales à -1

On sait [44] qu'il est impossible de concevoir un matériau hétérogène dont la permittivité et la perméabilité effectives sont simultanément égales à -1 . Il convient toutefois de noter que cette remarque ne vaut à priori que pour des matériaux 2D et 3D car la démonstration de cette impossibilité utilise la propriété de focalisation parfaite, qui ne s'applique évidemment pas aux matériaux 1D, autrement dit aux empilements de couches diélectriques planes. Le fait de savoir si un tel cristal 1D peut effectivement posséder une permittivité et une perméabilité égales à -1 (que nous appellerons métamatériau 1D parfait par la suite) n'est pourtant pas sans intérêt. Les cristaux 1D, 2D et 3D possèdent en effet beaucoup de propriétés physiques communes et l'obtention d'un métamatériau 1D parfait constitue un encouragement à la recherche de métamatériaux 2D et 3D "presque parfaits", dont les paramètres électriques sont proches de -1 .

Nous avons démontré que les métamatériaux 1D parfaits existent et même qu'ils sont relativement communs [s3]. Nous avons donné les règles analytiques qui permettent de les déterminer (période, indice optique des deux types de diélectriques utilisés dans l'empilement de couches, épaisseurs de ses couches). Il s'avère que, quels que soient les indices optiques des deux couches (même très proches), on peut trouver des épaisseurs permettant d'obtenir un métamatériau parfait à une valeur donnée de la longueur d'onde de la lumière. Nous avons montré en outre que pour une longueur d'onde donnée, les épaisseurs des couches diélectriques peuvent être aussi petites que l'on veut comparées à celle-ci, à condition de disposer de matériaux d'indices optiques aussi élevés que l'on désire, ce qui n'est évidemment guère possible dans les domaines optique et infrarouge. Cette conclusion semble contradictoire avec les remarques usuelles sur les métamatériaux de type cristal photonique, qui sont censés ne pouvoir être miniaturisés.

Résultats sur la réfraction négative

Nous avons trouvé les paramètres de cristaux photoniques possédant un indice de réfraction égal à -1 pour tous les angles d'incidence, et simulé une lentille parfaite. Les cartes de champ indiquent clairement une refocalisation [s2]. La résolution obtenue est semblable à celle obtenue avec des lentilles classiques car, à ce stade de l'étude, seuls les modes propagatifs permettent de reconstruire l'image.

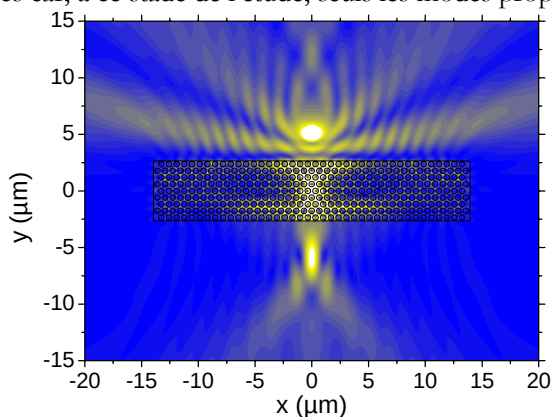


Fig. 3: Lentille en cristal photonique diélectrique. Carte de champ; la source ponctuelle est située en $x = 0$ et $y = 5.3 \mu m$.

Résultats sur le couplage au niveau de l'interface

A notre connaissance, il n'y a actuellement aucun résultat publié qui permette de prédire quel est le couplage au niveau de l'interface qui sépare le cristal photonique du milieu extérieur. Nous avons récemment obtenu des résultats dans ce domaine qui ont mené à deux publications soumises [s2,s4].

Dans le cas 1D, il a été montré que si la terminaison est quelconque, les paramètres ε et μ prennent des valeurs généralement complexes. Ce résultat surprenant ne viole pas les lois de conservation de l'énergie dans la mesure où la partie imaginaire de ε est compensée par la partie imaginaire de μ . De plus, il a été montré que les paramètres ε et μ deviennent réels quand la terminaison du cristal est telle que la cellule élémentaire de celui-ci possède un plan de symétrie.

Dans le cas 2D, une étude numérique a permis de confirmer les résultats démontrés en 1D. Avec la terminaison adéquate, il a été possible de déterminer numériquement les valeurs de ε et μ et présenter un premier exemple numérique de lentille plate avec une efficacité de transmission optimale [s2].

III.3.1.3. Conception de nouveaux composants, le coin parfait

L'idée à l'origine du coin parfait est de recréer une image parfaite qui se superpose avec la source. Dans ce sens, le coin parfait apparaît comme une généralisation de la lentille parfaite. L'intérêt du coin parfait est double : il permettrait d'une part de stocker de la lumière, mais aussi d'obtenir des sources de lumière très intenses en raison d'une EMLDOS théoriquement infinie.

En collaboration avec J. Pendry, nous avons étudié le coin parfait le plus simple : un plan partitionné en quatre quadrants alternativement remplis avec un indice égal à 1 et -1 . Les études numériques ont montré que ce coin parfait présente les propriétés attendues [25] : refocalisation et EMLDOS infinie. Récemment, la visite de A. Ramakrishna (Kanpur, India) dans l'équipe CLARTE pour une période d'un mois, a été l'occasion d'étudier des structures plus complexes que ce premier coin parfait mais aussi plus proches de la réalité. En particulier, cette étude a permis de montrer que des coins parfaits en cristal photonique présentent des propriétés similaires à celles des structures idéales.

III.3.2. Auto-guidage

Se situant dans la continuité directe de l'étude des propriétés des cristaux photoniques dans leurs bandes de transparence, et en collaboration avec le groupe du Pr. Sotomayor-Torres (alors professeur à Wuppertal en Allemagne), nous avons montré qu'il est possible de canaliser la lumière à l'intérieur du cristal, phénomène que nous avons dénommé autoguidage [22]. L'exemple que nous proposons concerne un cristal photonique de maille carrée. Si la fréquence est judicieusement choisie, la majeure partie de l'énergie émise par une source placée dans ce cristal sera émise dans des directions privilégiées. La figure montre la carte du module du champ électrique lorsqu'une source placée au centre l'excite. La plupart de l'énergie émise est canalisée dans deux canaux étroits. Ce phénomène peut aussi être utilisé pour guider la lumière provenant de l'extérieur du cristal. Ce type de guidage présente l'avantage de ne pas nécessiter un alignement du faisceau incident sur le guide et d'être peu sensible à l'angle d'incidence.

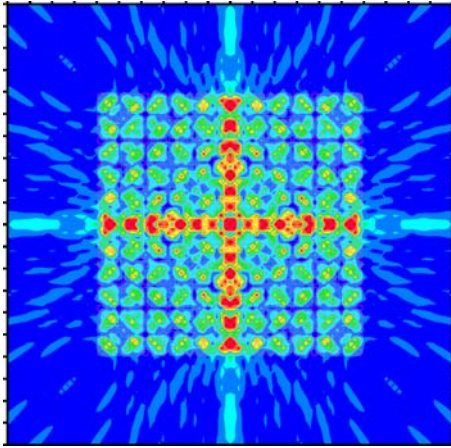


Fig. 4: Carte du module du champ électrique lorsque le cristal photonique est excité par un fil source placé au centre.

III.3.3. Quasi-cristaux

Les propriétés des quasi-cristaux photoniques restent mal comprises. Le développement d'un outil de modélisation adapté au calcul de la densité locale d'états dans une structure de taille finie nous a permis de montrer que la diffraction multiple et les interactions à longue distance peuvent jouer un rôle important dans la formation des bandes interdites [27]. La structure que nous avons étudiée est un quasi-cristal constitué d'un nombre fini de tiges diélectriques positionnées sur un pavage de Penrose (cf. figure). Le calcul de la densité locale d'états a montré qu'une telle structure peut posséder plusieurs bandes interdites.

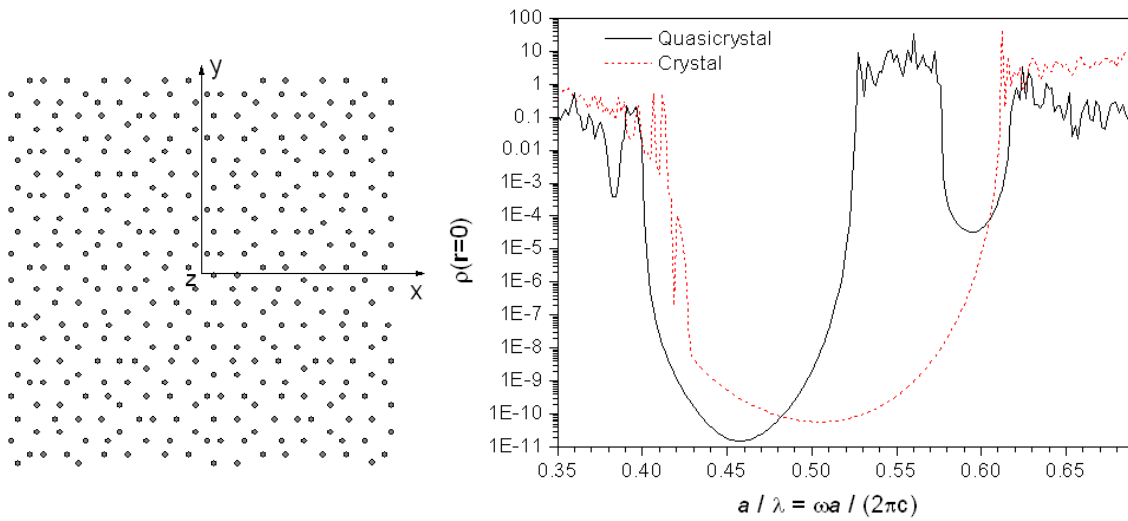


Figure 5 : Gauche: schéma d'un quasi-cristal composé de 530 tiges diélectriques. Droite: densité locale d'états pour le quasi-cristal représenté et pour un cristal photonique à maille carrée et de même taux de remplissage.

Nous avons pu observer que ces différentes bandes interdites se comportent de manière différente en fonction de la taille de la structure. En effet, la bande interdite la plus large (au centre) se comporte de manière tout à fait similaire à celle d'un cristal photonique à maille carrée. La bande interdite est présente dès les petites tailles de structures et nous avons observé une décroissance exponentielle similaire de la densité locale d'états. Par contre, les deux bandes interdites de part et d'autre nécessitent une dimension plus importante de structure pour être observée, ce qui indique que les effets donnant naissance à ces bandes interdites impliquent des interactions à distance plus importante. Afin de mieux comprendre l'origine de ces bandes interdites, un raisonnement basé sur un modèle au premier ordre de

type Born nous a permis de montrer que cette bande interdite résulte de phénomènes de diffraction multiple.

Ces travaux se poursuivent par l'étude des résonances localisées qui peuvent apparaître dans les bandes de transparence [s5].

III.3.4. Piégeage de particules en vue de former un cristal photonique ajustable

L'idée très récente de construire un cristal photonique commandable optiquement en piégeant des particules dans un champ d'interférences optique grâce à l'action des forces optiques s'est dégagée au cours des discussions autour du télescope géant de Labeyrie. Ce télescope dont la taille espérée pouvait dépasser une centaine de mètres devait être formé par un assemblage de particules micrométriques retenues dans l'espace vide (hors atmosphère) par un champ d'interférence produit par un ensemble de lasers disposés de telle manière que les particules se répartissent sur un paraboloïde de révolution.

Il est beaucoup plus aisé de créer un champ d'interférences périodique dans lequel des spots lumineux sont séparés par des zones de champ faible, en vue de former un cristal photonique. On peut obtenir de tels champs en superposant quelques ondes planes. La figure 6 montre le champ d'interférences 2D produit par trois ondes planes équiamplitudes dont les directions de propagation sont séparées de 120° . Des particules 2D (autrement dit des tiges diélectriques perpendiculaires à la figure) projetées dans ce champ d'interférences sont susceptibles d'être piégées et de former un cristal photonique à maille triangulaire.

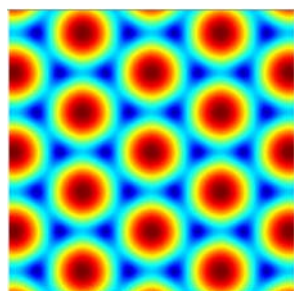


Fig. 6: Carte du champ électrique du champ d'interférences engendré par 3 ondes planes polarisées s (champ électrique perpendiculaire à la figure). Echelle thermique du champ (les champs sont d'autant plus intenses que la couleur est chaude).

Nous avons élaboré une théorie permettant de calculer rigoureusement la trajectoire de particules diélectriques 2D (tiges circulaires perpendiculaires à la figure) placées à l'instant initial dans le champ d'interférences avec une vitesse et une position données. Cette théorie, qui inclut une partie électromagnétique et une partie mécanique (avec en particulier un traitement des chocs entre tiges) nous a permis de montrer, dans un certain nombre de cas, que les tiges, après une phase de mouvement, se stabilisent sur une configuration finale d'équilibre, à condition de donner au milieu dans lequel baignent les tiges un coefficient de viscosité suffisant (figure 7).

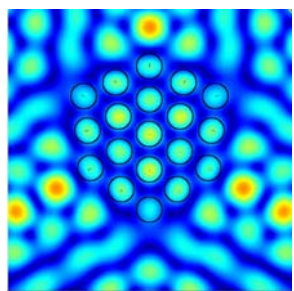


Figure 7: Position d'équilibre d'un ensemble de 19 tiges diélectriques de permittivité 2.8 placées dans le champ d'interférences de la figure 1, le milieu liquide visqueux dans lequel baignent les tiges ayant une permittivité égale à 1.69. La longueur d'onde de la lumière dans le vide est égale à 546 nm. La figure montre aussi la carte de champ total.

Ces premiers résultats ont permis de montrer que les tiges se placent selon une disposition proche (mais non rigoureusement identique) de celle d'un cristal photonique et que, curieusement, l'assemblage de tiges ne peut s'étendre au-delà d'une taille limite. Enfin et surtout, la période du cristal photonique de taille finie ainsi obtenu est inférieure à celle du champ d'interférences. Ce phénomène, connu par les expérimentateurs sous le nom de "binding" est provoqué par le fait que la présence des tiges modifie la carte initiale de champ. Il semble qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'explication physique, phénoménologique, au "binding". Ces premiers résultats nous ont amené à initier une étude théorique de ces phénomènes fascinants. Les premiers résultats de cette étude sont encourageants. Une publication est en rédaction. Il faut noter que nous collaborons sur ce sujet avec un expérimentateur de l'EPFL de Lausanne (J-M. Fournier) et, pour la partie théorique et numérique, avec le groupe du MIT dirigé par J. Kong.

III.4. Plasmonique

Au début du siècle dernier, Wood a découvert que les réseaux gravés dans un métal très conducteur présentent pour certaines fréquences un changement soudain de l'intensité de la lumière diffractée. Dans les années 1970, les progrès réalisés dans la théorie électromagnétique ont permis d'expliquer ces anomalies par l'excitation d'une résonance électromagnétique de surface, appelée résonance plasmonique. L'arrivée des premiers codes numériques basés sur la résolution rigoureuse des équations de Maxwell a alors permis de modéliser et comprendre ces anomalies.

III.4.1. Tamis à photons

A la fin des années 1990 est apparu un nouveau dispositif, dénommé communément « tamis à photons », qui consiste en une fine plaque métallique percée de trous d'un diamètre inférieur à la longueur d'onde, régulièrement espacés. Pour certaines fréquences, ce dispositif présente des pics de transmission lumineuse alors inexplicables. Cette découverte a déclenché un vif intérêt dans la communauté scientifique.

La disposition périodique des trous classe le tamis à photons parmi les réseaux de diffraction bi-périodiques. Les premières études numériques ont été réalisées sur des réseaux 1D de fentes, car aucune équipe ne disposait de codes numériques capables de modéliser la diffraction de la lumière par un réseau bi-périodique. Nous avons démontré que les réseaux 1D permettent l'excitation de modes TEM dans les fentes, même si celles-ci présentent une largeur inférieure à la longueur d'onde. Les conclusions établies à l'aide de la modélisation de ces réseaux 1D ne pouvaient donc pas s'appliquer aux tamis à photons puisque la lumière ne se propage pas à l'intérieur d'une ouverture sub-longueur d'onde. Nous avons pu en 2000 reproduire numériquement le phénomène de la transmission exaltée à travers un tamis à photons grâce à un code numérique 2D rigoureux.

Mais la modélisation simultanée des réseaux 1D et 2D pour expliquer la physique des tamis à photons a jeté un doute sur l'origine de l'exaltation de la transmission de la lumière. En 2003, afin de démontrer que l'excitation de résonances plasmoniques était à l'origine de l'exaltation de la transmission lumineuse, nous avons reproduit numériquement une expérience identique à celle des tamis à photons, mais à travers une plaque métallique sans trou. La transmission de la lumière est négligeable à travers la plaque métallique seule, mais atteint 67 % lorsque des plots diélectriques sont rajoutés périodiquement sur les faces de cette plaque. Cette expérience qui a permis de démontrer le rôle des plasmons de surface a été récemment vérifiée expérimentalement.

Avec le groupe de K. Kuipers à AMOLF à Amsterdam, nous avons montré que, contrairement à ce qui avait été suggéré, la forme des trous influe beaucoup sur le comportement de la structure. Des résonances "de forme" ont pu être mises en évidence théoriquement et expérimentalement [24].

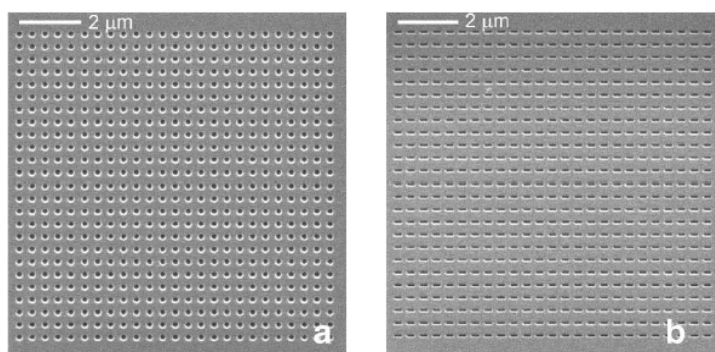


Figure 8 : Exemples de réseaux bipériodiques constitués de trous dans une couche métallique (réalisés par l'université de Twente, Pays-Bas).

Enfin, une collaboration a été initiée avec le laboratoire ICFO à Barcelone sur l'étude des résonances plasmons de particules métalliques placées selon des arrangements périodiques. Ici aussi la collaboration s'articule autour de la complémentarité entre la modélisation que nous maîtrisons et l'expérience réalisée par l'ICFO. Cette collaboration se concrétise au travers d'une thèse en co-tutelle. L'objet est d'étudier les résonances couplées de deux particules ou encore de coupler le plasmon de surface de la surface plane au plasmon localisé des particules. De manière générale, nous abordons donc l'ingénierie des résonances plasmons et plus précisément de leur relation de dispersion.

III.4.2. Ouvertures nanométriques (ou nanotrous)

La technologie actuelle permet la conception de nano-composants optiques qui confinent la lumière à des échelles nanométriques. Le champ d'application offert par la maîtrise de la lumière à ces nouvelles échelles est vaste: exaltation des effets non-linéaires, dénombrement de molécules fluorescentes, manipulation de la matière par voie optique.

Si les tamis à photons permettent l'excitation de résonances plasmoniques délocalisées sur l'ensemble du composant, une ouverture isolée permet d'exciter une résonance plasmonique localisée à l'échelle nanométrique.

Le champ étant très fortement confiné au voisinage de l'ouverture, la modélisation est très difficile. Des méthodes générales comme la Finite Difference Time Domain (FDTD) se sont révélées inadaptées. Nous avons développé en 2005 une méthode numérique adaptée à ces conditions opto-géométriques extrêmes. Basée sur la méthode différentielle, cette méthode dénommée Fast Numerical Factorization (FNF) développe le champ électromagnétique sur une base de Fourier-Bessel et présente une convergence rapide en fonction de la troncation numérique de la base. Cette méthode permet de modéliser précisément le champ électromagnétique dans une ouverture simple ou structurée (fig.9), éclairée par une onde plane ou un faisceau gaussien. Nous développons également un code numérique basé sur la méthode des sources fictives, qui est également bien adaptée à ce type de structures.

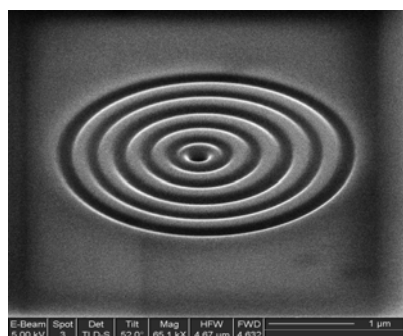


Fig.9: Ouverture nanométrique structurée par une modulation périodique

A l'aide de la méthode FNF, nous avons étudié les processus physiques impliqués dans la diffraction de la lumière par une ouverture nanométrique réalisée dans un métal très conducteur. Nous avons démontré la possibilité d'exciter une résonance plasmonique à l'aide d'une ouverture simple, dépourvue de structuration, puis étudié la transmission de la lumière à travers l'ouverture. Nous avons ensuite quantifié la réduction du cône de rayonnement de la lumière observée expérimentalement en 2001 à la sortie d'une ouverture structurée par une modulation périodique, et dissocié les rôles des 2 structurations sur chacune des faces du métal. La structuration du côté de l'onde incidente permet de coupler efficacement l'onde incidente à la résonance plasmonique, ce qui entraîne une augmentation de l'intensité lumineuse dans l'ouverture, et la structuration du côté de l'émission permet de rayonner l'onde plasmonique qui se propage à la surface du métal, ce qui diminue l'angle du cône de rayonnement. Mais l'étude la plus importante a porté sur la détermination de la géométrie de l'ouverture qui optimise le couplage entre l'onde incidente et la résonance plasmonique. Nous avons démontré que les rayons des gravures successives qui optimisent le plasmon sont égaux aux maximum et minimum successifs de la fonction $R J_1(k_p R)$, où R est le rayon de l'ouverture, J_1 la fonction de Bessel du premier ordre et k_p la constante de propagation du plasmon. A l'aide de cette formule très simple, nous pouvons désormais déterminer précisément la géométrie des nano-composants à graver qui optimisent le confinement du champ.

III.4.3. Application à la biophotonique

Cette partie concerne une collaboration entre les équipes CLARTE et MOSAIC de l'Institut Fresnel, dans le cadre du projet COEXUS (Confinement et exaltation électromagnétique pour biopuces) de l'ANR PNANO 2005. Les détails de l'étude sont consignés dans la partie relative à l'équipe MOSAIC.

III.5. Réseaux résonnants : composants hybrides multicouches nanostructurés pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde

Depuis 1985, les réseaux résonnants sont proposés comme une alternative aux filtres Fabry-Pérot (empilements de couches minces) pour réaliser des filtres à bande passante étroite, inférieure au nanomètre. L'application visée est le filtrage des signaux DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) des télécommunications optiques.

Un réseau résonnant est un composant très simple, formé d'une nanostructure périodique gravée sur un guide d'onde plan. Lorsque la période est inférieure à la longueur d'onde et la perturbation périodique faible, la réponse spectrale est en général proche de celle de l'empilement de couches, sauf qu'elle présente épisodiquement des pics. Ces pics de résonance traduisent le couplage de l'onde incidente avec un mode guidé (sur le même principe qu'un coupleur à réseau). A la résonance, la réflectivité peut atteindre 100% et la largeur du pic est inversement proportionnelle au carré de la hauteur de la perturbation. Cette dernière propriété a permis d'envisager la fabrication de filtres très étroits avec un minimum de couches planes et une toute petite gravure périodique. Cependant, jusqu'à présent, trois inconvénients majeurs ont empêché l'utilisation et le développement de ce type de composants : la faible tolérance angulaire et spectrale (profils Lorentziens), et la sensibilité à la polarisation. Ces défauts apparaissent en particulier en incidence oblique, configuration requise dans la plupart des applications.

Nous avons développé une méthode perturbative pour montrer qu'une tolérance angulaire optimale pouvait être obtenue lors d'un couplage fort entre deux modes contra-propagatifs [35]. De plus, une analyse phénoménologique a montré que l'indépendance à la polarisation ne pouvait s'obtenir que si la structure possédait deux modes propres dégénérés (qui seraient donc excités simultanément par le faisceau incident) [71,72,59]. La méthode perturbative nous a permis d'exhiber des configurations

répondant à ce critère. Il s'agit de nanostructures périodiques dans deux directions, éclairées selon un axe de symétrie à un angle bien précis [24]. Au final, quatre modes sont excités dans la structure. Il faut noter, que ce résultat complexe n'aurait jamais pu être obtenu avec une optimisation numérique 'aveugle'. Enfin, nous avons réussi à modifier la forme de la résonance spectrale en excitant deux modes guidés dont les fréquences propres sont très proches l'une de l'autre.

L'important travail numérique et théorique que nous avons mené nous a permis de comprendre le phénomène de résonance dans des cas très complexes. Nous avons pu concevoir des composants dont les performances sont largement supérieures à celles présentées dans la littérature. Nous pensons que ce type de structure, répondant à toutes les exigences des filtres DWDMs, pourra être une alternative très intéressante aux filtres actuels. Un brevet a d'ailleurs été déposé par l'entreprise CILAS à ce sujet [116].

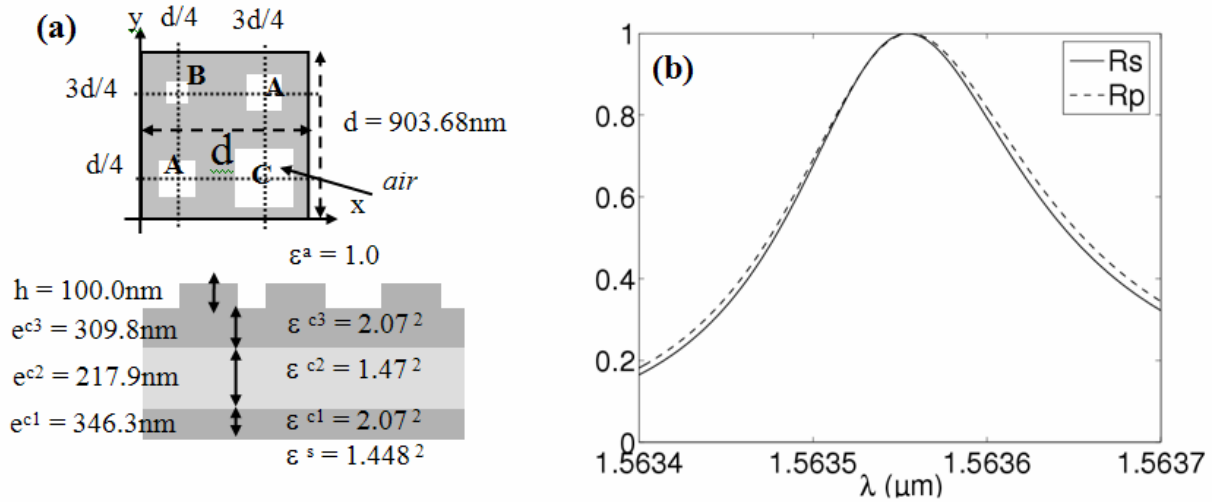


Fig.10: (a) Géométrie de la structure vue de dessus (une période) et de côté. (b) Réflectivité en fonction de la longueur d'onde

III.6. Forces optiques

Ce sujet de recherche réalisé en collaboration avec Dr. A. Rahmani (Ecole centrale de Lyon, LEOM) et Pr. M. Nieto-Vesperinas (ICMM CSIS Madrid) utilise la configuration décrite Fig. 11. Le principe de cette approche est de créer une nappe électromagnétique évanescente par réflexion totale au-dessus d'un substrat transparent. Nous avons montré qu'une sonde métallique sans ouverture peut alors être utilisée pour sculpter le champ évanescent et créer un potentiel de piégeage très fortement localisé. Nous avons notamment montré que la nano manipulation d'une particule métallique était très fortement dépendante de la longueur d'onde utilisée avec une augmentation très importante du potentiel de piégeage à la résonance plasmon. En cas de présence de particules métalliques de nature différente sur le substrat, il est alors possible d'effectuer une manipulation sélective des particules.

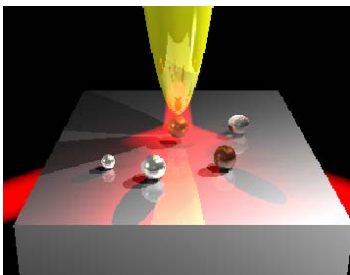


Fig.11: Configuration utilisée pour la nano manipulation d'objets métalliques déposés sur un substrat de verre. La scène est éclairée par le substrat (onde évanescente).

Nous avons aussi montré la possibilité sans changer la configuration d'effectuer du SERS (surface-enhanced Raman scattering). En effet entre l'apex de la pointe et la particule à manipuler se crée

une nanocavité dans laquelle règne une forte exaltation du champ permettant de faire du SERS. De plus l'amplitude du champ et la position de la résonance dans cette nano cavité peuvent être contrôlées à travers la position de la pointe et de la nature de la pointe et de la particule, respectivement (P. C. Chaumet, A. Rahmani, et M. Nieto-Vesperinas, accepté à App. Opt.).

Notons que la méthode utilisée pour calculer les forces optiques et plus généralement rendre compte de l'interaction lumière-matière est la méthode des dipôles couplés. Cette méthode présentait des problèmes de convergence dans le cas de matériaux présentant une forte absorption (entre autre les métaux). Nous avons récemment élaboré deux solutions permettant de calculer les forces optiques plus précisément.

III.7. Antennes résonnantes

Dans la continuité de notre collaboration avec Alcatel Alenia Space (Toulouse) sur la conception d'antennes pour satellites, nous avons développé des antennes à cavité résonnante à forte efficacité de surface. La difficulté réside dans l'obtention simultanée d'une forte efficacité de surface et d'une bonne adaptation d'impédance. L'utilisation de surfaces artificielles équivalentes à des conducteurs magnétiques parfaits est une voie prometteuse. Ce développement à venir rejoint ainsi notre travail sur les métamatériaux. Cette étude bénéficie de l'accès à la chambre anéchoïque du CCRM, et s'effectue en collaboration avec l'équipe SEMO.

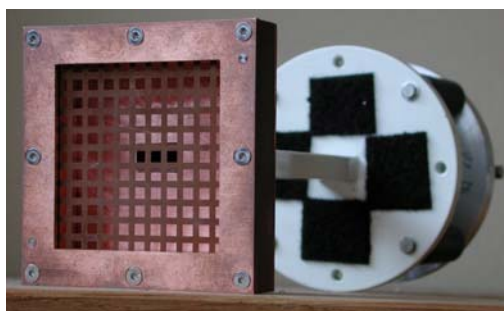


Fig.12: Antenne à cavité alimentée par son guide d'onde.

III.8. Perspectives

Nous avons déjà abordé quelques perspectives de travail. On peut considérer que l'ensemble de nos thèmes seront poursuivis dans les années futures. Cependant, nous pouvons distinguer quelques thèmes émergents dont l'importance est appelée à croître dans les prochaines années.

Fibres optiques

Concernant les fibres microstructurées, nous comptons poursuivre nos fructueuses collaborations avec les équipes expérimentales capables de fabriquer ces structures notamment celle avec le LVC de l'Université de Rennes et PERFOS pour le développement d'applications dans le moyen et le lointain infrarouge. L'étude du couplage électromagnétisme-élasticité, particulièrement pertinente pour les fibres microstructurées, se fera en collaboration avec l'Université de Liverpool. Pour ce qui est des fibres torsadées, les outils théoriques sont maintenant développés mais il reste un travail conséquent de mise en oeuvre et de comparaison avec les données expérimentales. Enfin, notre effort sur l'étude des nonlinéarités dans les fibres microstructurées sera accentué. La méthode développée et validée dans le cas scalaire sera étendue au cas vectoriel. Nous disposerons alors d'un outil unique pour l'étude *ab-initio* des nonlinéarités dans les guides d'ondes de taille finie ou périodique.

Le récent rattachement d'un membre issu de l'activité filtre hybride sur fibre optique ouvre également des perspectives sur le couplage fibre / milieu extérieur en bout de fibre microstructurée.

Métamatériaux & cristaux photoniques

Nous poursuivrons notre effort sur la compréhension des phénomènes liés aux structures de type métamatériaux et cristaux photoniques. En particulier, nous nous attarderons sur les limites des modèles et le chiffrage des performances que l'on peut attendre des diverses solutions envisagées pour créer des métamatériaux de la main gauche (diélectriques, métaux).

Nous proposerons au prochain appel à projet RTN Marie Curie une étude portant sur les métamatériaux appliqués aux domaines de l'optique et de l'élasticité. Il s'agira de mettre en commun les compétences théoriques et expérimentales complémentaires développées dans notre groupe et ceux des partenaires: université de Liverpool, CSIC (San Sebastian), CUDOS (University of Sydney), ICFO (Barcelona), AMOLF (Amsterdam).

Un financement du programme blanc de l'ANR a été accepté (IEF, LMOV, Institut Fresnel, FEMTO-ST). Le projet s'articule autour de l'intégration de matériaux magnétiques dans un cristal photonique, qui permet de concevoir des dispositifs non réciproques et/ou commandables.

Réseaux résonnants

Depuis 2005, le projet sur les structures hybrides a pris de l'ampleur car il implique dorénavant trois laboratoires, l'Institut Fresnel, le LAAS et le LPN et une dizaine de chercheurs permanents. Il est soutenu financièrement par le CNES et EADS ainsi que par l'ANR Pnano 2005. Il fait l'objet d'une thèse co-dirigée avec Mme Lozes du LAAS. Nous visons la réalisation et la caractérisation de filtres ultra-sélectifs en longueur d'onde à 1550 nm (DWDM), et à 850 nm (instrumentation optique spatiale). La finesse de la bande passante, de l'ordre du dixième de nanomètre et les taux de rejection élevés requis par ces applications sont des spécifications contraignantes qui, si elles sont remplies, permettront de valider l'intérêt de telles structures.

Parallèlement, nous poursuivrons notre étude des structures hybrides pour obtenir de nouvelles fonctionnalités comme l'accordabilité (matériaux actifs piezo-électriques ou opto-électriques).

Forces optiques

Les perspectives prochaines sont d'étudier les couples optiques (d'abord pour des objets simples, tel la sphère puis des objets de formes plus compliquées, pour finir avec des objets possédant un pouvoir rotatoire) et les forces et couples optiques dans le régime temporel, afin de pouvoir observer la force de Abraham.

Antennes, surfaces "PMC" et "hard"

Nos travaux sur l'amélioration des performances des antennes nous conduisent à envisager des surfaces offrant des conditions aux limites très inhabituelles: conducteur magnétique parfait (PMC) et surfaces "hard" en particulier. Un effort sera entrepris pour améliorer les propriétés de ces surfaces, qui relèvent à la fois des réseaux de diffraction et des métamatériaux.

III.9. Activités de rayonnement dans la communauté scientifique

- Direction du GDR Ondes (D. Maystre) depuis sa création le 1er janvier 2002 par le département STIC du CNRS, jusqu'au 1er janvier 2006.
- Médaille de bronze du CNRS (S. Enoch, année 2006, section 08).
- Organisation du "Mediterranean Microwaves Symposium", 1-3 juin 2004, Marseille (présidence du comité d'organisation par D. Maystre, plusieurs membres de l'équipe impliqués dans le comité scientifique et l'organisation).

- Organisation d'une session du Groupe Thématique 2 du GDR Ondes sur les fibres optiques microstructurées les 23 et 24 juin 2005 à Marseille (G. Renversez).
- Présidence du comité scientifique du Colloque "Horizons de l'Optique" qui s'est tenu à Toulouse du 3 au 5 septembre 2004 (D. Maystre).
- Membre du comité scientifique de Horizon de l'optique (S. Enoch).
- Membre du comité éditorial du Journal of Modern Optics (S. Enoch).
- Expert (S. Enoch) à l'OMNT (Observatoire des micro et nano technologies).
- Membre du comité scientifique du PIERS 2004 (Pise, Italie) et co-organisateur d'une session sur les métamatériaux et les cristaux photoniques (S. Enoch).
- Membre du comité scientifique de ICONO 2005, St. Petersburg, Russie (S. Enoch)
- Co-chair de la session Nanophotonics, Metamaterials and Microcavities de l'EOS Annual Meeting 2006 (S. Enoch).
- Membre du management board du réseau d'excellence PHOREMOST 2004-2006 (S. Enoch).
- Dans le cadre d'accords de coopération entre la France et l'Australie, nous avons obtenu le financement d'un PICS (2003) et un financement franco-australien (2004-2005) pour poursuivre notre collaboration sur les fibres microstructurées avec l'équipe du professeur R.C. McPhedran (Université de Sydney).
- Parution d'un livre consacré à la fois à la modélisation et à l'étude des fibres optiques microstructurées (Foundations of Photonic Crystal Fibres, Zolla F., Renversez G., Nicolet A., Kuhlmei B., Guenneau S., Felbacq D., Imperial College Press, 2005).

III.10. Thèses soutenues

NOM Prénom	Date fin	Type de bourse	Devenir
FEHRENBACH Anne-Laure	29/09/03	CIFRE	MCF IF
GUERIN Nicolas	25/09/03	MRT	Post Doc Zurich
KUHLMEY Boris	04/07/03	MRT	Chercheur Australie
BONOD Nicolas	03/09/04	MRT	CR CNRS IF
MOINE Olivier	28/11/05	BDI	Post Doc
BOYER Philippe	06/10/06	MRT	Post Doc XLIM

III.11. Thèses en cours

NOM Prénom	Date début	Type de bourse
BENELLI Giacomo	01/10/03	MRT
OULDAGHA Yacoub	09/12/04	Bourse Mauritanie
HERNANDEZ Stephan	11/04/05	CNES
CESARIO Jean	01/10/05	AMX
DROUART Fabien	01/10/05	BDI CNRS
GODART Pierre	04/09/06	MRT
MALIDE	04/09/06	MRT

III.12. Budget CLARTE 03-06

Equipe CLARTE: 03-06						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS et QUADRIENNAL 2003-2006	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
ANR	2005	4329	ANR GIP	Subvention	P. Chaumet	9 901,00 €
	Total 2005					9 901,00 €
Total ANR						9 901,00 €
BQR et ressources suppl. provenant des établissements	2003	142 R1	Univ. Paul Cezanne	International	D. Maystre	5 335,72 €
		1MS 153	CNRS	DRI CNRS	G. Renversez	8 970,00 €
	Total 2003					14 305,72 €
	2004	32541	Univ. Provence	BQR U1 2004	D. Maystre	2 300,00 €
		001 153	CNRS	Equipement Labintel	G. Tayeb	35 880,00 €
		0MA 153	CNRS DRI	Coopération CNRS/Australie 2004	G. Renversez	458,00 €
		0MS 153	CNRS DRI	Financement séjour Australie	G. Renversez	2 188,68 €
		142 R1	Univ. Paul Cezanne	BQR U111 2004	D. Maystre	3 000,00 €
		DRI aucun	CNRS DRI	Coopération CNRS/Australie 2004	G. Renversez	5 793,00 €
	Total 2004					49 619,68 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						63 925,40 €
Communauté européenne	2004	4322 R3	Commission européenne	6ème PCRD T REX	S. Enoch	95 680,00 €
	Total 2004					95 680,00 €
	2005	versé au chercheur	EGIDE	PAI	A. Nicollet/F. Zolla	3 500,00 €
	Total 2005					3 500,00 €
	2006	(vide)	EGIDE	EGIDE 1ère année	G. Renversez	2 800,00 €
				EGIDE 2ème année	A. Nicolet	3 000,00 €
	Total 2006					5 800,00 €
Total Communauté européenne						104 980,00 €
Fonds pour la recherche et la technologie	2004	500631	CNRS ACI	ACI	D. Maystre	83 780,00 €
	Total 2004					83 780,00 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						83 780,00 €
Ressources propres	2003	142 C	CHROMAPLEX	Actions commerciales	E. Popov	5 980,00 €
		4192 R3	Institut Français Pé	contrat de recherche	A. Nicolet	52 624,00 €
		4307 R3 930	ALCATEL	contrat de recherche	G. Tayeb	29 900,00 €
	Total 2003					88 504,00 €
	2004	0PF 153	CNRS	Programme "Matériaux"	D. Maystre	23 920,00 €
		532 C	CEA/CESTA	Actions commerciales	N. Bonod, E. Popov	10 764,00 €
	Total 2004					34 684,00 €
	2005	4327	CEA/CESTA	contrat de recherche	E. Popov/N. Bonod	
		32566	IUF	contrat de recherche	M. Nevière	15 245,00 €
		4307 UB 930	ALCATEL	contrat de recherche	G. Tayeb	23 920,00 €
		5109 UB 920	CNES	Aide à la recherche	A. Sentenac	71 760,00 €
	Total 2005					110 925,00 €
Total Ressources propres						234 113,00 €
Total						496 699,40 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où l'équipe CLARTE bénéficie respectivement, dans le cadre des ANR POEM et MAGNETOPHOT, de 82k€ et 96k€.

III.13. Production scientifique CLARTE

III.13.1. Publications soumises dans des revues à comité de lecture

- s1 Y. De Wilde, F. Formanek, R. Carminati, B. Gralak, K. Joulain, J.-P. Mulet, Y. Chen, P. A. Lemoine, J.-J. Greffet, « Infrared Scanning Tunneling Microscopy », soumis à Nature.
- s2 T. Decoopman, G. Tayeb, S. Enoch, D. Maystre and B. Gralak, « Photonic crystal lens: from negative refraction and negative index to negative permittivity and permeability », soumis à Phys. Rev. Lett.
- s3 D. Maystre, "Getting effective permittivity and permeability equal to -1 in 1D dielectric photonic crystals", Journal of Modern Optics, à paraître.
- s4 R. Pierre and B. Gralak, « Lossless photonic crystals have a complex effective permittivity », soumis à Phys. Rev. Lett.
- s5 A. Della Villa, S. Enoch, G. Tayeb, F. Capolino, V. Pierro, V. Galdi, Localized modes in photonic quasicrystals with Penrose-type lattice, soumis à Optics Express

III.13.2. Publications dans des revues à comité de lecture

- 1. Bonnefois J.-J., Guida G., Nevière M., Popov E., « **Simulation of two-dimensional Kerr photonic crystals via the fast Fourier factorisation** », Journal of the Optical Society of America A **23** 842-847 (2006)
- 2. Boyer P., Renversez G., Popov E., Nevière M., « **A new differential method applied to the study of arbitrary cross section microstructured optical fibers** », Optical and Quantum Electronics **38** 217-230 (2006)
- 3. Boyer P., Popov E., Nevière M., Renversez G., « **Diffraction theory: application of the fast Fourier factorization to cylindrical devices with arbitrary cross section lighted in conical mounting** », Journal of the Optical Society of America A **23** 1146-1158 (2006)
- 4. Brilland L., Smektala F., Renversez G., Chartier T., Troles J., Nguyen T.-N., Traynor N., Monteville A., « **Fabrication of complex structures of Holey Fibers in chalcogenide glass** », Optics Express **14** 1280-1285 (2006)
- 4b. Maystre D., « **Electromagnetic scattering by a set of objects: an integral method based on scattering operator** », Progress in Electromagnetic Research, PIER57, 55-84 (2006)
- 5. Fehrembach A.-L., Hernandez S., Sentenac A., « **k gaps for multimode waveguide gratings** », Physical Review B **73** 233405 (2006)
- 6. Guérin N., Enoch S., Tayeb G., Sabouroux P., Vincent P., Legay H., « **A metallic Fabry-Perot directive antenna** », IEEE Transactions on Antennas and Propagation **54** 220-224 (2006)
- 7. Guillon M., Moine O., Stout B., « **Longitudinal optical binding of high optical contrast microdroplets in air** », Physical Review Letters **96** 143902 (2006)
- 8. Labonté L., Pagnoux D., Roy P., Bahloul F., Zghal M., Mélin G., Burov E., Renversez G., « **Accurate measurement of the cutoff wavelength in a microstructured optical fiber by means of an azimuthal filtering technique** », Optics Letters **31** 1779-1781 (2006)
- 9. Nicolet A., Movchan A., Guenneau S., Zolla F., Franco-British partnership (British Council Egide) Collaboration, « **Asymptotic modelling of weakly twisted electrostatic problems** », Comptes Rendus Mécanique **337** 91-97 (2006)
- 10. Rahmani A., Chaumet P., « **Optical Trapping near a Photonic Crystal** », Optics Express **14** 6353 (2006)
- 11. Renversez G., Boyer P., Sagrini A., « **Antiresonant reflecting optical waveguide microstructured fibers revisited: a new analysis based on leaky mode coupling** », Optics Express **14** 5682-5687 (2006)
- 12. Stout B., Nevière M., Popov E., « **Mie scattering by an anisotropic object. Part II: Arbitrary-shaped object – differential theory** », Journal of the Optical Society of America A **23** 1124-1134

(2006)

13. Stout B., Nevière M., Popov E., **»Mie scattering by an anisotropic object. Part I: Homogeneous sphere»**, Journal of the Optical Society of America A **23** 1111-1123 (2006)
14. Wenger J., Rigneault H., Dintinger J., Marguet D., Lenne P.-F., **»Single-Fluorophore Diffusion in a Lipid Membrane over a Subwavelength Aperture»**, Journal of Biological Physics **32** SN1-SN4 (2006)
15. Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Capoulade J., Rigneault H., Dintinger J., Ebbesen T.W., **»Nanopuits métalliques pour exalter les contrastes en microscopie optique»**, Photoniques **23** 44-45 (2006)
16. Auger J.-C., Stout B., Martinez V., **»Scattering efficiency of aggregated clusters of spheres: dependence on configuration and composition»**, Journal of the Optical Society of America A **22** 2700-2708 (2005)
17. Bonod N., Popov E., Nevière M., Rigneault H., Lenne P.-F., Chaumet P., **»Surface plasmon excitation on a single subwavelength hole in a metallic sheet»**, Applied Optics **44** 2332-2337 (2005)
18. Bonod N., Popov E., Nevière M., **»Light transmission through a subwavelength microstructured aperture: electromagnetic theory and applications»**, Optics Communications **245** 355-361 (2005)
19. Bonod N., Popov E., Nevière M., **»Fourier factorization of nonlinear Maxwell equations in periodic media: application to the optical Kerr effect»**, Optics Communications **244** 389-398 (2005)
20. Bonod N., Popov E., Nevière M., **»Differential theory of diffraction by finite cylindrical objects»**, Journal of the Optical Society of America A **22** 481-490 (2005)
21. Della Villa A., Enoch S., Tayeb G., Pierro V., Galdi V., Capolino F., **»Band gap formation and multiple scattering in photonic quasicrystals with a Penrose-type lattice»**, Physical Review Letters **18** 183903 (2005)
22. Enoch S., Simon J.-J., Escoubas L., Elalamy Z., Lemarquis F., Torchio P., Albrand G., **»Simple layer-by-layer photonic crystal for the control of thermal emission»**, Applied Physics Letters **86** 261101 (2005)
23. Enoch S., Popov E., Bonod N., **»Analysis of the physical origin of surface modes on finite-size photonic crystals»**, Physical Review B **72** 155101-(1-7) (2005)
24. Fehrembach A.-L., Sentenac A., **»Unpolarized narrow-band filtering with resonant gratings»**, Applied Physics Letters **86** 121105 (2005)
25. Guenneau S., Gralak B., Pendry J., **»Perfect corner reflector»**, Optics Letters **30** 1206 (2005)
26. L. Van Der Molen K., J. Koerkamp K., Enoch S., B. Segerink F., F. Van Hulst N., Kuipers L., **»Role of shape and localized resonances in extraordinary transmission through periodic arrays of subwavelength holes: experiment and theory»**, Physical Review B **72** 045421 (2005)
27. Maystre D., Enoch S., Gralak B., Tayeb G., **»Metamaterials: from microwaves to the visible region»**, Comptes Rendus Physique **6** p.693-701 (2005)
28. Moine O., Stout B., **»Optical force calculations in arbitrary beams by use of the vector addition theorem»**, Journal of the Optical Society of America B **22** 1620-1631 (2005)
29. Popov E., Enoch S., **»Photonic crystal surface modes narrow-band filtering»**, Optics Express **13** 5783-5790 (2005)
30. Popov E., Nevière M., Fehrembach A.-L., Bonod N., **»Enhanced transmission of light through a circular structured aperture»**, Applied Optics **44** 6898-6904 (2005)
31. Popov E., Nevière M., Boyer P., Bonod N., **»Transmission through single apertures»**, Optics Communications **255** 338-348 (2005)
32. Popov E., Nevière M., Fehrembach A.-L., Bonod N., **»Optimization of plasmon excitation at**

- structured apertures*», Applied Optics **44** 6141-6154 (2005)
33. Renversez G., Bordas F., Kuhlmei B. T., »*Second mode transition in microstructured optical fibers: determination of the critical geometrical parameter and study of the matrix refractive index and effects of cladding size*», Optics letters **30** 1264-1266 (2005)
 34. Rigneault H., Capoulade J., Dintinger J., Wenger J., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Lenne P.-F., »*Detection enhancement of single molecules at high concentrations in subwavelength apertures*», Physical Review Letters **95** 117401 (2005)
 35. Sentenac A., Fehrembach A.-L., »*Angular tolerant resonant grating filters under oblique incidences*», J. Opt. Soc. Am. A **22** 475-480 (2005)
 36. Stout B., Nevière M., Popov E., »*Light diffraction by a three-dimensional object: Differential theory*», Journal of the Optical Society of America A **22** 2385-2404 (2005)
 37. Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Rigneault H., »*Single molecule fluorescence in rectangular ano-apertures*», Optics Express **13** 7035-7044 (2005)
 38. Auger J.-C., G. Barrera R., Stout B., »*Optical properties of an eccentrically located pigment within an air bubble*», Progress in Organic Coatings **49** 74-83 (2004)
 39. Bonod N., Reinisch R., Popov E., Nevière M., »*Optimization of surface-plasmon- enhanced magneto-optical effects*», Journal of the Optical Society of America B **21** 791-797 (2004)
 40. Boyer P., Popov E., Nevière M., Tayeb G., »*Diffraction theory in TM-polarization: application of the Fast Fourier Factorization method to cylindrical devices with arbitrary cross section*», J. Opt. Soc. Am. A **21** 2146-2153 (2004)
 41. Guenneau S., Nicolet A., Geuzaine C., Movchan A., Zolla F., »*Comparison of finite element and Rayleigh methods for the study of conical Bloch waves in arrays of metallic cylinders*», International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering **23** 932-949 (2004)
 42. Guenneau S., Geuzaine C., Movchan A., Nicolet A., Zolla F., »*Low frequency electromagnetic waves in periodic structures*», International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics **19** 479-483 (2004)
 43. J. Klein Koerkamp K., Enoch S., B. Segerink F., F. Van Hulst N., Kuipers L., »*Strong influence of hole shape on extraordinary transmission through periodic arrays sub-wavelength holes*», Physical Review Letters **92** 183901 (2004)
 44. Maystre D., Enoch S., »*Perfect lenses made with left-handed materials: Alice's mirror*», Journal of the Optical Society of America A **21** 122-131 (2004)
 45. Nicolet A., Zolla F., Guenneau S., »*A finite element modelling for twisted electromagnetic wave-guides*», European Journal of Physics **28** 153-157 (2004)
 46. Popov E., Nevière M., Bonod N., »*Factorization of products of discontinuous functions applied to Fourier-Bessel basis*», Journal of the Optical Society of America A **21** 46-51 (2004)
 47. Popov E., Chernov B., Nevière M., Bonod N., »*Differential theory: application to highly conducting gratings*», Journal of the Optical Society of America A **21** 199-206 (2004)
 48. Popov E., Hoose J., Frankel B., Keast C., Fritze M., Fan T.Y., Yost D., Rabe S., »*Diffraction-grating based wavelength demultiplexer*», Optics Express **12** 269-275 (2004)
 49. Popov E., Enoch S., Tayeb G., Nevière M., Gralak B., Bonod N., »*Enhanced transmission due to nonplasmon resonances in one- and two-dimensional gratings*», Applied Optics **43** 999-1008 (2004)
 50. Tayeb G., Enoch S., »*Combined Fictitious Sources - Scattering Matrix method*», Journal of the Optical Society of America A **21** 1417-1423 (2004)
 51. Auger J.-C., Stout B., »*A recursive centered T-Matrix algorithm to solve the multiple scattering equation: numerical validation*», Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer **79-80** 533-547 (2003)

52. Auger J.-C., G. Barrera R., Stout B., »**Scattering efficiencies of aggregates of spherical particles**», Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer **79-80** 521-531 (2003)
53. Bonod N., Enoch S., Nevière M., Popov E., Li L., »**Resonant optical transmission through thin metallic films with and without holes**», Optics Express **11** 482-490 (2003)
54. Chigrin D.N., Enoch S., Sotomayor Torres C.M., Tayeb G., »**Self-guiding in two-dimensional photonic crystals**», Optics Express **11** 1203-1211 (2003)
55. Da Silva A., Andraud C., Charron E., Stout B., Lafait J., »**Multiple light scattering in multilayered media: theory, experiments**», Physica B **338** 74-78 (2003)
56. De Dood M., Gralak B., Polman A., Fleming J., »**Superstructure and finite size effects in a Si photonic woodpile crystal**», Physical Review B **67** 35322 (2003)
57. Enoch S., Tayeb G., Maystre D., »**Dispersion diagrams of Bloch modes applied to the design of directive sources**», Invited paper in the special issue on «Electromagnetic Applications of Photonic Band Gap Materials and Structures», Progress In Electromagnetics Research series Vol.41. Editors: T. Itoh and A. Priou, p.61-81, 2003 **41** 61-81 (2003)
- 57b. Maystre D., "Electromagnetic analysis of ultra-refraction and negative refraction", Journal of Modern Optics **50** 1431-1444 (2003)
58. Enoch S., Tayeb G., Gralak B., »**The richness of the dispersion relation of electromagnetic band gap materials**», IEEE Transactions on Antennas and Propagation **51** 2659-2666 (2003)
59. Fehrembach A.-L., Sentenac A., »**Study of waveguide gratings eigenmodes for unpolarized filtering applications**», Journal of the Optical Society of America A **20** 481-488 (2003)
60. Gralak B., De Dood M., Tayeb G., Enoch S., Maystre D., »**Theoretical study of photonic bandgaps in woodpile crystals**», Physical Review E **67** 066601 (2003)
61. Guenneau S., Nicolet A., Zolla F., Lasquellet S., »**Theoretical and numerical study of photonic crystal fibers**», Progress in Electromagnetic Research **41** 271-305 (2003)
62. Kalkman J., Strohhofer C., Gralak B., Polman A., »**Surface plasmon polariton modified emission of erbium in a metallodielectric grating**», Applied physics letters **67** 30 (2003)
63. Kuhlmeij B. T., Renversez G., Maystre D., »**Chromatic dispersion and losses of microstructured optical fibers**», Applied Optics **42** 634-639 (2003)
64. Renversez G., Kuhlmeij B. T., Mcphedran R. C., »**Dispersion management with microstructured optical fibers: Ultra-flattened chromatic dispersion with low losses**», Optics Letters **28** 989-991 (2003)
65. Stout B., Andraud C., Stout S., Lafait J., »**Absorption in multiple scattering systems of coated spheres**», Journal of the Optical Society of America A **20** 1050-1059 (2003)
66. Stout B., Andraud C., Stout S., Lafait J., »**Absorption in Multiple Scattering Systems of Coated Spheres: Design applications**», Physica B **338** 121-125 (2003)
67. Zolla F., Guenneau S., »**A duality relation for the Maxwell system**», Physical Review E **67** 026610 (2003)
68. Enoch S., Gralak B., Tayeb G., »**Enhanced emission with angular confinement from photonic crystals**», Applied Physics Letters **81** 1588-1590 (2002)
69. Enoch S., Tayeb G., Sabouroux P., Guérin N., Vincent P., »**A metamaterial for directive emission**», Physical Review Letters **89** 213902 (2002)
70. Enoch S., Popov E., Nevière M., Reinisch R., »**Enhanced light transmission by hole arrays**», Journal of Optics A **4** S83-S87 (2002)
71. Fehrembach A.-L., Maystre D., Sentenac A., »**Filtering of unpolarized light by gratings**», Journal of Optics A **4** 88-93 (2002)
72. Fehrembach A.-L., Maystre D., Sentenac A., »**Phenomenological theory of filtering by resonant dielectric gratings**», Journal of the Optical Society of America A **19** 1136-1144 (2002)

73. Gralak B., Enoch S., Tayeb G., **»From scattering or impedance matrices of gratings to Bloch modes of photonic crystals»**, Journal of the Optical Society of America A **19** 1547-1554 (2002)
74. Guenneau S., Lasquelléc S., Nicolet A., Zolla F., **»Design of Photonic Band Gap optical fibers with finite elements»**, International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering **21** 534-539 (2002)
75. Guenneau S., Lasquelléc S., Nicolet A., Zolla F., **»Modelling of Photonic crystal optical fibers with finite elements»**, IEEE Transactions on Magnetics **38** 1261-1264 (2002)
76. P. White T., Kuhlmei B. T., C. Mcphedran R., Maystre D., Renversez G., M. De Sterke C., Botten L.C., **»Multipole method for microstructured optical fibers I: formulation»**, J. Opt. Soc. Am. B, in press, 2002 19, 10, p.2322-2330 **19** 2322-2330 (2002)
77. Popov E., Nevrière M., Bonod N., **»Differential Theory of Diffraction by 2D-Periodic Objects»**, Trends in Optics and Photonics **75** 351-358 (2002)
78. Popov E., Nevrière M., Gralak B., Tayeb G., **»Staircase approximation validity for arbitrary shaped gratings»**, Journal of the Optical Society of America A **19** 33-42 (2002)
79. Prot D., Stout B., Lafait J., Pinçon N., Palpant B., Debrus S., **»Local electric field enhancements and large third-order optical nonlinearity in nanocomposite materials»**, Journal of Optics A **4** S99-S102 (2002)
80. Reinisch R., Nevrière M., Tayeb G., Popov E., **»Symmetry relations for reflection and transmission coefficients of magneto-optic systems»**, Optics Communications **205** 59-70 (2002)
81. Stout B., Andraud C., Prot D., Lafait J., Auger J.-C., Stout S., **»Complete field descriptions in three-dimensional multiple scattering problems: a transfer-matrix approach»**, Journal of Optics A **4** S182-S187 (2002)
82. Stout B., Auger J.-C., Lafait J., **»A transfer matrix approach to local field calculations in multiple scattering problems»**, Journal of Modern Optics **49** 2129-2152 (2002)
83. White T. P., Kuhlmei B. T., Renversez G., Maystre D., De Sterke C. M., Botten L. C., Mcphedran R. C., **»Multipole method for microstructured optical fibers II: implementation and results»**, Journal of the Optical Society of America B **19** 2331-2340 (2002)

III.13.3. Conférences invitées dans des congrès

84. Boyer P., Renversez G., Popov E., Nevrière M., **»The Fast Fourier Factorization method applied to the study of arbitrary cross section microstructured optical fibers»**, 409-420 SPIE Photonics Europe Proceedings. Photonic Materials, Devices, and Applications, vol. 5840, 2005 France SPIE G. Badenes, D. Abbott, and A. Serpenguzel (2005)
85. Gralak B., **»Transfer matrix formalism applied to homogenisation of periodic structures»**, Applied Mathematics Seminar Programme Royaume-Uni (2005)
86. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., Gralak B., **»Metamaterials and optical resolution: the end of Rayleigh limit?»**, ETOP 2005, Conference on Education and Training in Optics and Photonics, Marseille, France, October 24-27th, 2005 France (2005)
- 86b. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., Gralak B., **»Métamatériaux et cristaux photoniques»**, Horizons de l'Optique, Chambéry (2005)
87. Kuhlmei B. T., C. Mcphedran R., M. De Sterke C., Renversez G., **»Microstructured optical fibre phase diagrams and operation regimes: towards deterministic MOF design»**, 222-236 Photonics West Proceedings. Proceedings of SPIE, Photonic Crystal Materials and Devices II, vol. 5360 France A. Adibi, A. Scherer, S.-Y. Lin (2004)
88. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Photonic crystals, left-handed materials and perfect lenses: breakthrough or revolution?»**, International Workshop on Analytical-Numerical Methods in Electromagnetism and Optics (ANMEO), Clermont-Ferrand and Olloix, France, June 10-12, 2004 Clermont-Ferrand and Olloix, France France (2004)
89. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Scattering by a finite set of cylinders»**, PIERS 2004, Pisa, Italy,

28-31 march 2004 Italie (2004)

- 89b. Maystre D., Renversez G., Kuhlmei B., Mc Phedran R.C., Botten L.C., **"Modeling of Microstructured Optical Fibers using a multipole method"** PIERS 2004, Pisa (Italy), 28-31 march 2004 Italie (2004)
90. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Ultra-refraction and negative refraction in metamaterials«**, International Conference on «Quantum Sensing and Nanophotonic Devices» at the SPIE Optoelectronics 2004 International Symposium, San Jose, CA, USA, January 24-29, 2004 États-Unis d'Amérique (2004)
91. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Photonic crystals and left-handed materials: negative refraction«**, PIERS 2004, Pisa (Italy), 28-31 march 2004 Italie (2004)
92. Tayeb G., Enoch S., **»Combination of the scattering matrix theory and the fictitious sources method for the efficient solving of complex 2D problems«**, PIERS 2004, Pisa (Italy), 28-31 march 2004 Italie (2004)
93. Enoch S., Maystre D., Tayeb G., **»Photonic crystals as negative index materials«**, Invited conference, IEEE AP-S International Symposium and USNC/CNC/URSI National Radio Science Meeting, Columbus, Ohio (USA), June 22-27, 2003 États-Unis d'Amérique (2003)
94. Enoch S., Tayeb G., Vincent P., **»Metamaterial antenna«**, Invited conference, CNR Workshop on the «Special Materials and Metamaterials for Electromagnetics and Telecommunications», Florence April 16th, 2003 Italie (2003)
95. Enoch S., Tayeb G., Vincent P., Sabouroux P., Guérin N., **»Metamaterials with low effective permittivity for directive antennas«**, Invited conference, IEEE AP-S International Symposium and USNC/CNC/URSI National Radio Science Meeting, Columbus, Ohio (USA), June 22-27, 2003 États-Unis d'Amérique (2003)
96. Escoubas L., Simon J.-J., Loli M., Berginc G., Flory F., Lemarquis F., Enoch S., Giovannini H., **»Near infrared antireflective silicon grating working in the resonance domain«**, Invited Conf. «Design and Technology of Optical Coatings», September 24-26, 2003, Bonassola, Italie (2003)
97. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Réfraction anormale dans les structures BIP et matériaux main gauche«**, XIIIèmes Journées Nationales Micro-ondes, Lille, 21-23 mai 2003 France (2003)
98. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Réfraction négative dans les cristaux photoniques et les matériaux main gauche: Alice de l'autre côté du miroir?«**, Numelec 2003, 4ème Conférence Européenne sur les méthodes numériques en Electromagnétisme, Toulouse, 28-30 octobre 2003 France (2003)
99. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Ultraréfraction et réfraction négative dans les méta-matériaux«**, Congrès Général de la Société Française de Physique, Lyon, 7-10 juillet 2003 Lyon France (2003)
100. Tayeb G., Enoch S., Vincent P., Sabouroux P., **»A compact directive antenna using ultrarefractive properties of metamaterials«**, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, Torino, Italy, Sept. 08-12, 2003 Italie (2003)
101. Enoch S., **»Cristaux photoniques: état de l'art et propriétés«**, Cycle de conférences de la SFP Marseille, Marseille 12 Juin 2002 France (2002)
102. Enoch S., Tayeb G., **»The richness of the dispersion relation of photonic crystals: application to superprism effect and other remarkable effects«**, Second IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE-Nano'2002), August 26-28, 2002 États-Unis d'Amérique (2002)
103. Kuhlmei B. T., Renversez G., Maystre D., White T., C. Mcphedran R., Botten L., **»Multipole study of dispersion and losses of photonic crystal fibres«**, 114-123 SPIE Photonics West Proceedings, Photonic Bandgap Materials and Devices, vol. 4655 France A. Adibi, A. Scherer, and S.Y. Lin (2002)
104. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Ultrarefraction properties of photonic crystals«**, Progress in Electromagnetics Research Symposium, Cambridge, USA, July 2002 États-Unis d'Amérique (2002)
105. Tayeb G., **»Photonic Crystal-based antennas«**, Invited conference, European Space Agency,

ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, April 12th, 2002 Pays-Bas (2002)

III.13.4. Proceedings à comité de lecture

106. Della Villa A., Enoch S., Tayeb G., Galdi V., Pierro V., Capolino F., **«LDOS analysis of the electromagnetic band-gap properties of certain categories of quasicrystals»**, 4 pages Proc. ICEAA'05 Proc. ICEAA'05: International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, Torino, Italy, Sept. 12-16, 2005 (2005)
107. Benelli G., Enoch S., Tayeb G., Vincent P., Geffrin J.-M., Sabouroux P., Legay H., **«Resonant cavity antennas»**, 107-111 ESA-WPP Proceedings of the 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-handed Materials, Fractal and Frequency Selective Surfaces, 9-11 March 2004, Santiago de Compostela, Spain (2004)
108. Benelli G., Enoch S., Tayeb G., Capolino F., Geffrin J.-M., Sabouroux P., Legay H., **«High Surface Efficiency Cavity Antennas»**, Proceedings on CD-ROM (5 pages) MMS'2004 Proc. Mediterranean Microwave Symposium MMS'2004, June 1-3, Marseille, Proceedings on CD-ROM (5 pages), 2004 (2004)
109. Guenneau S., Gralak B., Pendry J., **«Short stories on line sources in meta-materials»**, 4 PIERS Proc. PIERS, Pisa, Italy (2004)
110. Guérin N., Sabouroux P., Enoch S., Tayeb G., Vincent P., **«Etude et réalisation d'antennes directives compactes»**, B11-B14 JCMM Actes des JCMM 2004, 8èmes Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux, La Rochelle, 31 Mars - 2 Avril 2004 (2004)
111. Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **«Anomalous refraction phenomena in metamaterials, application to directive antennas and superlenses»**, Proceedings on CD-ROM (4 pages), MMS'2004 Proc. Mediterranean Microwave Symposium MMS'2004, June 1-3, Marseille, Proceedings on CD-ROM (4 pages), 2004 (2004)
112. Enoch S., Tayeb G., Vincent P., **«Metamaterial antenna»**, 447-451 Atti della Fondazione Giorgio Ronchi Proc. CNR Workshop on the «Special Materials and Metamaterials for Electromagnetics and Telecommunications», Atti della Fondazione Giorgio Ronchi, n.3-4 (2003)
113. Renversez G., Kuhlmei B., Guenneau S., Nicolet A., Zolla F., **«Numerical investigation of photonic crystal fibres by spectral and multipole methods»**, 15-23 Kluwer Academic Press A.B. Movchan Asymptotics, singularities and homogenization in problems of mechanics (2003)
114. Tayeb G., Enoch S., Vincent P., Sabouroux P., **«A compact directive antenna using ultrarefractive properties of metamaterials»**, 426 ICEAA Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications ICEAA'03, Torino, Italy, Sept. 08-12, 2003 (2003)
115. Chigrin D.N., Enoch S., Sotomayor Torres C.M., Tayeb G., **«Self-guiding in two-dimensional photonics crystals»**, 63-72 SPIE Photonic Bandgap Materials and Devices, Editors A. Adibi, A. Scherer, S.Y. Lin, Proceedings of SPIE, vol. 4655 (2002)
116. Combes J.-M., Gralak B., Tip A., **«Spectral properties of absorptive photonic crystals»**, 1 Contemporary Mathematics 339 P. Kuchment Waves in Periodic and Random Media (2002)
117. Enoch S., Tayeb G., **«The richness of the dispersion relation of photonic crystals: application to superprism effect and other remarkable effects»**, 219-222 IEEE Proc. Second IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE-Nano'2002) (2002)
118. Gralak B., Tayeb G., Enoch S., Popov E., **«Color rendering techniques applied to the study of butterflies wings»**, 407-409 TOPS Trends in Optics and Photonics Series, TOPS vol.75, Diffractive Optics & Micro-Optics, ed. Magnusson (2002)
119. Gralak B., Enoch S., Tayeb G., **«Radiating dipoles in woodpile and simple cubic structures. Photonic Bandgap Materials and Devices»**, 241-250 SPIE Photonic Bandgap Materials and Devices, Editors A. Adibi, A. Scherer, S.Y. Lin, Proceedings of SPIE, vol. 4655, Jan. 2002 (Photonics West, San Jose) (2002)
120. Gralak B., Tayeb G., Enoch S., Popov E., **«Color rendering techniques applied to the study of**

butterflies wings», 172-174 OSA Proceedings of the Diffractive Optics and Micro-Optics Topical Meeting, OSA 2002, Tucson, USA, Technical Digest (2002)

121. Guérin N., Sabouroux P., Enoch S., Tayeb G., Vincent P., *»Etude et réalisation d'antennes directives»*, 163-166 JCMM Actes des 7èmes Journées de Caractérisation Micro-ondes et Matériaux, Toulouse, mars 2002 (2002)

122. Tayeb G., Enoch S., Sabouroux P., Guérin N., Vincent P., *»Compact directive antennas using metamaterials»*, 101-104 JINA Proceedings of the JINA 2002 Symposium, vol. 2 (2002)

III.13.5. Publications dans des revues sans comité

123. Tayeb G., Gralak B., Enoch S., *»Structural colors in Nature and butterfly-wing modeling»*, Optics and Photonics News **14** 38-43 (2003)

III.13.6. Communications à des congrès, symposium

124. Pierre R., Gralak B., Tayeb G., *»Study of Negative Refraction in Photonic Crystals»*, PIERS 2006 (Progress In Electromagnetics Research Symposium), August 2-5 Tokyo Japon (2006)

125. Pierre R., Gralak B., Decoopman T., Tayeb G., Enoch S., Maystre D., *»Effect of the Interface Separating a Homogeneous Medium and a Photonic Crystab»*, PIERS 2006 (Progress In Electromagnetics Research Symposium), August 2-5 Tokyo Japon (2006)

126. Rigneault H., Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Dintinger J., Ebbesen T.W., *»Single molecule detection enhancement in subwavelength apertures»*, BIOS 06, Photonics West San Jose États-Unis d'Amérique (2006)

127. Rigneault H., Wenger J., Lenne P.-F., Cluzel B., Dintinger J., Popov E., Bonod N., Ebbesen T.W., *»Fluorescence correlation spectroscopy in a sub-wavelength aperture»*, EOS Topical meeting on Molecular Plasmonics Engelberg Suisse (2006)

128. Wenger J., Conchonaud F., Dintinger J., Wawrezynieck L., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Marguet D., Rigneault H., Lenne P.-F., *»Nanopuits pour l'étude de la diffusion membranaire à haute résolution spatiale»*, réunion commune transverse GT2-GT5 du GdR Ondes Gif sur Yvette France (2006)

129. Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Popov E., Lenne P.-F., Ebbesen T.W., Rigneault H., *»Enhanced Raman Scattering in a 10 Attoliter Nanohole»*, Nanophotonics OSA topical meeting Uncasville États-Unis d'Amérique (2006)

130. Benelli G., Enoch S., Tayeb G., *»A numerical method for the study of subwavelength apertures in metallic films»*, PECS-VI: International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, Aghia Pelaghia, Crete, Greece, June 19-24, 2005 Grèce (2005)

131. Enoch S., Della Villa A., Tayeb G., Pierro V., Galdi V., Capolino F., *»Bandgap formation and multiple scattering in photonic quasicrystals»*, ICONO, St. Petersburg, Russia, May 11-15, 2005 Russie (2005)

132. Maystre D., Enoch S., Gralak B., Tayeb G., *»Les métamatériaux: des microondes au domaine visible»*, Journées scientifiques CNFRS/URSI «Interaction du champ électromagnétique avec l'environnement», ENST Paris, 24-25 fév. 2005 Paris France (2005)

133. Sagrini A., Renversez G., Boyer P., *»Transition de délocalisation du mode de c\oeur des fibres microstructurées anti-résonantes par anticroisement des modes à pertes»*, Journées Nationales d'Optique Guidée 2005 Chambéry France (2005)

134. Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Lenne P.-F., Rigneault H., *»Enhancement of single molecule fluorescence detection in subwavelength apertures»*, COLOQ 9 Dijon France (2005)

135. Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Lenne P.-F., Popov E., Ebbesen T.W., Rigneault H., *»Single molecule detection in nano-apertures»*, Focus On Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)

136. Wenger J., Lenne P.-F., Capoulade J., Bonod N., Popov E., Dintinger J., Ebbesen T.W., Rigneault H., *»Enhancement of Single Molecule Fluorescence Detection in Subwavelength Apertures»*, IOP

2005 Warwick Royaume-Uni (2005)

137. Bordas F., Provino L., Renversez G., **»Fibres optiques microstructurées de haut indice: pertes et dispersion chromatique du fondamental, et cutoff du second mode, comparaison avec la silice.»**, 230-232 Journées Nationales d'Optique Guidée 2004 France (2004)
138. Elalamy Z., Fiere J., Enoch S., Escoubas L., Simon J.-J., Lemarquis F., Torchio P., Flory F., **»Micro-structured thin-film based photonic crystal for directive thermal sources»**, International Conference of OSA on «Optical Interference Coatings» Tucson (Arizona, USA) États-Unis d'Amérique (2004)
139. Elalamy Z., Fièrè J., Enoch S., Escoubas L., Simon J.-J., Lemarquis F., Torchio P., Flory F., **»Micro-structured thin-film based photonic crystal for directive thermal sources»**, xxx Optical Interference Coatings Tucson États-Unis d'Amérique OSA OSA (2004)
140. Kuipers L., J. Klein Koerkamp K., Van Der Molen K.L., B. Segerink F., F. Van Hulst N., Enoch S., **»Shape resonances in extraordinary transmission»**, CLEO/IQEC 2004, May 16-21 2004, San Francisco (USA) États-Unis d'Amérique (2004)
141. Tayeb G., Enoch S., **»Diffraction par N objets cylindriques: méthode de la matrice de diffraction et couplage avec la méthode des sources fictives»**, GdR Ondes, Lille, 2-3 déc. 2004 France (2004)
142. Enoch S., Tayeb G., Sabouroux P., Guérin N., Vincent P., **»Cristaux photoniques et métamatériaux pour canaliser l'émission»**, 4B1 XIIIèmes Journées Nationales Micro-ondes, Lille, 21-23 mai 2003 Lille France (2003)
143. Escoubas L., Loli M., Simon J., Giovannini H., Flory F., Lemarquis F., Enoch S., Berginc G., **»Design and fabrication of biperiodic AR gratings for the infrared»**, Advances in Optical Interference Coatings France SPIE 5250 SPIE 5250 (2003)
144. Sabouroux P., Tayeb G., Enoch S., Guérin N., Vincent P., **»Cristaux photoniques et métamatériaux pour des applications aux antennes plates»**, European Test and Telemetry Conference Toulouse France (2003)
145. Sauleau R., Tarot A.-C., Boutayeb H., Collardey S., Mahdjoubi K., Enoch S., Tayeb G., **»Application of Fabry-Perot cavities and EBG materials to the design of directive, multi-beam and frequency beam scanning antenna»**, Workshop on electromagnetic bandgap materials and metamaterials: potential microwave circuit and antenna applications Rennes France (2003)
146. Tayeb G., Gralak B., Enoch S., **»Application de la théorie électromagnétique des réseaux à l'étude des couleurs des ailes de papillon de type Morpho»**, GdR «Couleur et Matériaux à effets visuels», Atelier No4: «Caractérisation et modélisation de la couleur et des effets visuels», Marseille, 13 Nov. 2003 France (2003)
147. Fehrembach A.-L., Sentenac A., **»Study of the resonant behaviour of waveguide gratings: design of non-polarizing filters»**, International Commission for Optics 19th congress Florence Italie (2002)
148. Maystre D., Enoch S., **»Réflexions sur une lentille parfaite»**, GdR Ondes, Orsay 26-27 novembre 2002 France (2002)

III.13.7. Séminaires, workshops

149. Fehrembach A.-L., Hernandez S., Sentenac A., **»Réseaux résonnants sandwich, à gap en k»**, G.D.R. Ondes Besançon France (2005)
150. Gralak B., **»Homogenisation of 2D and 3D crystals»**, BAMC 2005 Royaume-Uni (2005)
151. Gralak B., Tip A., **»Calculation of 3D Green's function in woodpile structures»**, ICONO/LAT symposium Russie (2005)
152. Popov E., Nevière M., Fehrembach A.-L., Bonod N., **»Optimization of plasmon excitation at structured apertures»**, G.D.R. Ondes (G.T.2) Marseille France (2005)
153. Escoubas L., Enoch S., Simon J.-J., Elalamy Z., Torchio P., Lemarquis F., Fiere J., Flory F., **»Cristal Photonique Tridimensionnel pour la Réalisation de Sources Directives Thermiques»**, 5ièmes

Journées Nationales du Réseau de Recherche en Micro et Nano Technologies (RMNT) France (2004)

- 154.Gralak B., Guenneau S., Pendry J., **»Nouvelle application à partir de matériaux à indice négatif : le piège à lumière»**, GDR ondes France (2004)
- 155.Fehrembach A.-L., Sentenac A., Maystre D., **»Réseaux résonnants à Bandes Interdites Photoniques, nouveaux filtres pour le D.W.D.M.»**, G.D.R. Ondes Marseille France (2003)
- 156.Gralak B., **»Calculation of Green's function in presence of woodpile photonic crystals»**, Scientific Meeting of the FOM program on Condensed Matter Physics Pays-Bas (2003)
- 157.Gralak B., Guenneau S., Pendry J., **»Calculation of the Green's function in presence of a one-dimensional photonic crystal containing negative index materials»**, Meeting on Atomic Molecular and Optical Physics Pays-Bas (2003)
- 158.Sentenac A., Fehrembach A.-L., **»Photonic Band Gap Resonant Gratings: tailoring Radiation from Specular Structures»**, Workshop on Optical properties of complex materials over different length scales San Sebastian Espagne (2003)
- 159.Fehrembach A.-L., Sentenac A., Maystre D., **»D.W.D.M.: des réseaux, des pôles, des zéros...»**, G.D.R. Ondes (G.T.2) Orsay France (2002)
- 160.Gralak B., Tip A., **»Calculation of dispersion relation in absorptive photonic crystals»**, IUTAM Symposium, Asymptotics, Singularities and Homogenisation in Problems of Mechanics Royaume-Uni (2002)

III.13.8. Chapitres dans les ouvrages

- 161.Enoch S., Tayeb G., Gralak B., **»Superprism Effects and Antenna Applications in EBG»**, Chapter 11 John Wiley & Sons Ltd. Nader Engheta and Richard W. Ziolkowski Electromagnetic Metamaterials: Physics and Engineering Explorations (2006)
- 162.Maystre D., Enoch S., Tayeb G., **»Scattering Matrix Method applied to photonic crystals»**, 1-45 CRC Press, Taylor & Francis Kiyotoshi Yasumoto Electromagnetic Theory and Applications for Photonic Crystals (2006)
- 162bMaystre D., **"Diffraction (Les origines)"**, 19-59 Hermès, Electronique, Génie électrique, Microsystèmes: Optique Physique (2004)
- 162cLourtioz J.-M., Maystre D., Gérard J.-M., Benisty H., Chelnokov A., Berger V., **"Les matériaux structurés périodiquement, les cristaux photoniques"** 155-213 Hermès, Electronique, Génie électrique, Microsystèmes: Filière silicium et matériaux fonctionnels pour l'optoélectronique (2004)
- 163.Maystre D., Tayeb G., Vincent P., Enoch S., Guida G., **"Electromagnetic modelling of dielectric and metallic photonic crystals"**, 241-256 Kluwer Academic Publishers Solid Mechanics and Its Applications, Mechanical and Electromagnetic Waves in Structured Media, Vol. 91, Chapter 19 (2002)

III.13.9. Livres et ouvrages

- 164.Zolla F., Renversez G., Nicolet A., Kuhlmeier B. T., Guenneau S., Felbacq D., **"Foundations of Photonic Crystal Fibres"**, 343 Imperial College Press (2005)
- 165.Nevière M., Popov E., **"Light Propagation in Periodic Media: Diffraction Theory and Design"**, 400 Marcel Dekker, Inc. (2003)
- 165bLourtioz J.-M., Benisty H., Berger V., Gérard J.-M., Maystre D., Chelnokov A., **"Photonic crystals: towards wavelength scale photonic devices"** 422 Springer (2003)
- 165cLourtioz J.-M., Benisty H., Berger V., Gérard J.-M., Maystre D., Chelnokov A., **"Les cristaux photoniques ou la lumière en cage"** 426 Springer (2003)

III.13.10. Brevets

- 166.Fehrembach A.-L., Maystre D., Giovannini H., Sentenac A., Cilas Marseille Collaboration, **«Filtres optiques à réseau résonnant»**, 35 France FR2856804

IV - ÉQUIPE MAP2, RAPPORT SCIENTIFIQUE

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
MAP2	8,6	34	4000

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	MAP2 %	Date d'arrivée dans l'équipe
ZERRAD Myriam	U3	ITA-IATOS	1	janv-07
WAGNER Frank	U3	Ens-chercheur	1	sept-04
GALLAIS Laurent	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-03
COMMANDRE Mireille	EGIM	Ens-chercheur	1	janv-85
FOSSATI Caroline	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-99
AMRA Claude	CNRS	Chercheur	0,3	sept-99
HUARD Serge	EGIM	Ens-chercheur	0,3	oct-86
AKHOUAYRI Hassan	EGIM	Ens-chercheur	1	oct-92
NATOLI Jean Yves	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-95
DEUMIE-RAVIOL Carole	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-98
Total servant au calcul de la répartition des crédits			8,6	

MAP2 : Effectifs au 01/11/06

IV.1. Introduction

L'équipe MAP2 s'est constituée en 2000 sur la base de compétences et de moyens théoriques et expérimentaux dans les domaines des propriétés optiques des matériaux volumiques ou en couches minces (diffusion et absorption optiques) et de leur comportement sous fort flux lumineux (tenue au flux, propriétés non linéaires), d'où le nom de l'équipe.

Les activités Diffusion lumineuse et Endommagement laser ont connu sur les quatre dernières années un très fort élargissement thématique et le développement de nombreuses collaborations nationales et internationales aboutissant à une forte croissance de la production scientifique (34 RICL, 1 brevet) et des activités contractuelles (ressources propres de 415k€ entre 2003 et 2006). Par ailleurs à partir de 2001 est apparue une ouverture vers la microélectronique qui a permis à une activité « optique pour la microélectronique » de se développer progressivement et de se structurer, créant des liens intra et inter-équipes. Nous verrons qu'un objectif prioritaire de notre politique scientifique a été de favoriser les collaborations inter-équipes (RCMO, GSM et CLARTE notamment).

Il est à souligner que numériquement les effectifs permanents de MAP2 sont cependant restés stables au cours de la période, même si des départs à la retraite ont permis de renouveler et redynamiser les forces pour l'activité endommagement laser (recrutement dans la période de deux MCF L. Gallais et F. Wagner). On notera que MAP2 ne compte pratiquement que des enseignants chercheurs (0,3 chercheur CNRS mais qui est aussi le directeur du laboratoire). Un point très important est que le succès des activités Endommagement laser et Diffusion lumineuse a permis aux deux jeunes enseignants-chercheurs les animant d'être promus à des postes de professeur (J.Y. Natoli professeur à l'Université Paul Cézanne et C. Deumie à Centrale Marseille), élément évidemment favorable au développement futur.

Globalement l'équipe a consacré un effort important à concevoir et acquérir de nouveaux équipements, condition indispensable pour se positionner au meilleur niveau sur la scène internationale. Cela signifie compte tenu du coût des équipements dans nos disciplines, que nous avons dû pour atteindre nos objectifs, obtenir et gérer un budget très important (supérieur à 4M€ sur 4 ans) ce qui représente une charge de travail considérable. Ce budget a de plus permis de financer sur trois ans une assistante au service de gestion de l'institut. On précisera que tous les nouveaux dispositifs expérimentaux ont été développés sans aucun support technique en optique puisque l'équipe ne compte aucun IATOS ou ITA. La politique mise en place par l'institut nous a heureusement permis de recruter en décembre 2006 un IR à l'Université Paul Cézanne qui va intervenir sur les plateformes expérimentales de l'équipe.

Ces quatre dernières années ont été placées dans le contexte de la création de l'EGIM en septembre 2003 puis de son évolution en Ecole Centrale Marseille en novembre 2006. Six membres de MAP2 étaient enseignants chercheurs à l'EGIM/ECM et la plupart d'entre eux y ont pris de lourdes responsabilités et ont contribué au bon fonctionnement de ses instances CE, CS et CA. Presque tous les membres de l'équipe sont investis dans des responsabilités d'intérêt collectif pour le laboratoire. La plus grande difficulté que nous avons rencontrée est celle du recrutement de doctorants, liée à la désaffectation des jeunes pour la science et au contexte de la création de l'EC Marseille. Dans ce contexte nous avons bénéficié de plusieurs thèses CIFRE qui permettent de recruter de bons candidats mais posent de plus grandes difficultés de gestion de la politique scientifique que les autres types de financement.

En résumé, l'équipe a aujourd'hui pris une place considérable dans le tissu recherche national et international, académique et industriel lié à la tenue au flux des composants et a de plus réalisé une ouverture prometteuse vers l'imagerie en milieu diffusant. Nous allons présenter l'activité de l'équipe en trois volets qui sont la Photonique de puissance, la Diffusion lumineuse et l'Optique pour la microélectronique.

IV.2. Thème : Photonique de puissance

J.Y. Natoli (Responsable), H. Akhouayri, L. Gallais, F. Wagner, M. Commandré, C. Amra

La thématique a bénéficié de la création de la plateforme mutualisée du même nom (PP), labellisée POP SUD (financements CG13, Région PACA, MENRT, FEDER, FSE), dont les partenaires sont le laboratoire LP3, les sociétés SESO et CILAS Marseille. La plateforme constitue aujourd'hui un ensemble cohérent de moyens mutualisés permettant le diagnostic des optiques à haute tenue au flux sur un très large domaine spectral, principalement dans le régime nanoseconde. L'objectif est de contribuer à la compréhension des phénomènes d'interaction laser matière et l'étude des mécanismes associés à l'endommagement laser, afin de contribuer à l'amélioration des technologies et au développement de nouveaux composants.

IV.2.1. Caractérisation non destructive des nanodéfauts initiateurs de l'endommagement laser

(Thèses A. During 02-05 , B. Bertussi 02-05, maintenant chercheurs CEA puis A. Ciapponi 06-09)

Les méthodes destructives basées sur la mesure des courbes de probabilité d'endommagement en fonction de la densité d'énergie mettent en évidence l'existence de défauts précurseurs de l'endommagement de taille trop petite pour être détectés par les méthodes optiques classiques. Nous avons démontré en particulier une corrélation entre les défauts responsables de l'endommagement en surface de la silice à 355nm et les impuretés nanométriques présentes dans les liquides de polissage (collaboration SESO)[17]. Cependant la nature des précurseurs reste une question importante pour la compréhension des mécanismes d'endommagement. Nous avons développé un microscope photothermique haute résolution afin de détecter de façon non destructive les nano-défauts absorbants (jusqu'à 50nm) susceptibles d'initier l'endommagement. Le couplage de ce dispositif à un banc d'endommagement a permis d'étudier l'évolution de défauts modèles (nano-inclusions métalliques) lors d'irradiations laser. Les données expérimentales comparées à des simulations ont permis de mettre en évidence les mécanismes physiques intervenant dans le processus de claquage (absorption, fusion de l'or, transformation de la silice environnante- thèse DGA, collab. CEA, Université de Rochester, Argonne National Laboratory) [2,11,18,20,24,25,27,28] (**figure 2-1**). Nous avons montré l'intérêt de multi-caractérisations (absorption, diffusion et luminescence) pour l'identification de ces nanodéfauts [5,31,49]. **Ces résultats ont fait l'objet de la conférence invitée du Boulder Damage Symposium 2006 [36]**. Deux bancs permettant des mesures de luminescence ont également été mis en oeuvre : cartographie et spectre de luminescence excitée à 244nm (projet CREMSI) [3,5], ainsi que luminescence résolue en temps en cours de développement (ACI jeune chercheur, thèse CNRS Région de A. Ciapponi qui débute).

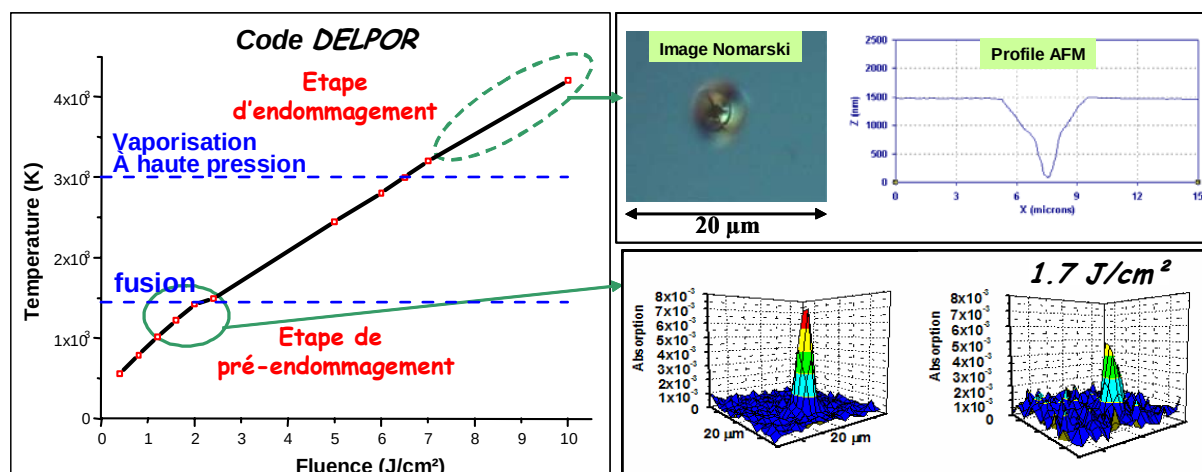


Fig.2-1: Exemple de résultat : mise en évidence par microscopie photothermique haute résolution, test de tenue au flux *in situ* et simulation par code DELPOR (CEA) d'une étape de pré-endommagement autour d'une particule d'or (250nm) incluse dans la silice.

IV.2.2. Métrologie de l'endommagement multi-échelles

(Thèses B. Bertussi puis J. Capoulade 04-07)

La taille du faisceau d'irradiation est un paramètre important pour spécifier la tenue aux flux, dépendant de l'application. Les analyses multi-échelles réalisées grâce au laser forte énergie de la plateforme (1,4J à 1,06 μm , régime nanoseconde) ont révélé des différences notables, les faisceaux de grande taille permettant statistiquement de détecter des défauts à faible densité (thèses DGA puis MENRT, collaboration avec le CEA CESTA et Le Ripault) (**Figure 2-2**). Ces résultats montrent l'importance de contrôler parfaitement les paramètres influant sur la mesure. Il apparaît utile pour une application donnée de réaliser une étude multi échelle, afin de déterminer les différents types de précurseurs de l'endommagement laser ou le cas échéant d'utiliser la taille du faisceau donnant accès au seuil fonctionnel.

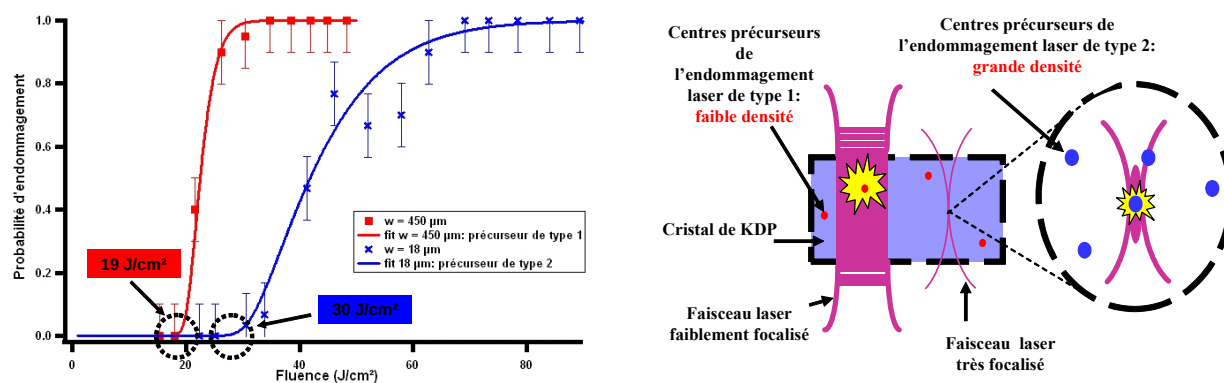


Fig.2-2: Exemple de métrologie multi-échelle sur cristal de KDP pour deux diamètres de faisceau w (18 et 450 μm) : à gauche les courbes de probabilité d'endommagement en fonction de la fluence ; à droite, schéma explicatif des conditions de mesure.

IV.2.3. Etude des phénomènes de « fatigue » et « conditionnement » des matériaux

(Thèses B. Bertussi puis J. Capoulade)

Les matériaux soumis à des tirs répétés sous seuil d'endommagement peuvent montrer une amélioration de leur tenue au flux (conditionnement) ou au contraire une fragilisation (fatigue). La **figure 2-3** montre par exemple les différences observées dans l'évolution du seuil d'endommagement de la silice pour deux longueurs d'onde dans le volume et sur la surface du matériau. Les études sur les verres optiques ont permis de déduire des lois de fragilisation permettant une estimation de la durée de vie du composant [16]. Ces lois sont utiles pour les applications à nombre de tirs élevé. C'est le cas pour les lasers à fort taux de répétition (KHz), ou pour des lasers à plus faible fréquence de tirs (10-100Hz) pour des utilisations sur de longues durées. Sur ce dernier point l'équipe est impliquée dans les projets **CHEMCAM (CNES)** depuis septembre 2006 et **ALADIN (ESA-ESTEC)** depuis Mars 2005. Pour ces projets le nombre de tirs doit atteindre respectivement 10^7 et 10^9 .

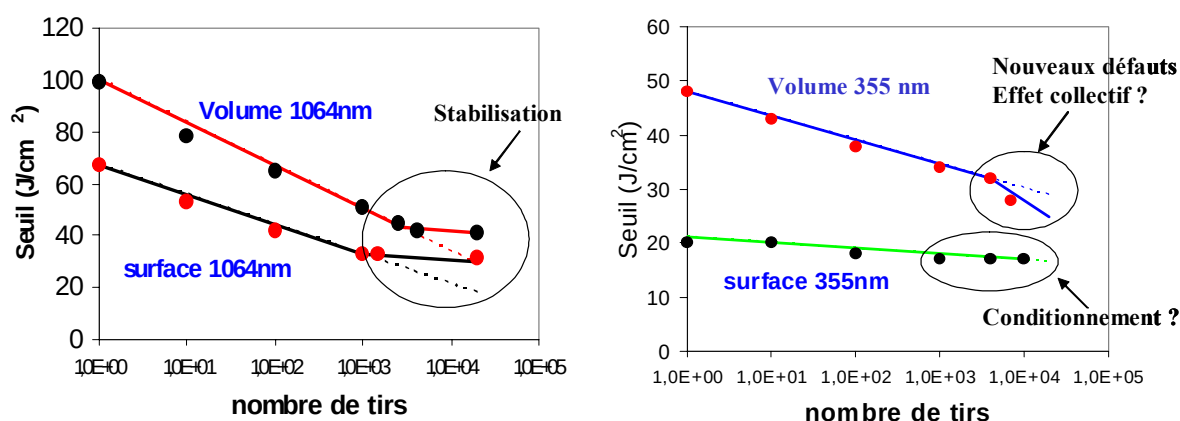


Fig. 2-3 : Evolution du seuil d'endommagement en fonction du nombre de tirs dans la silice à 1064nm et 355nm.

En ce qui concerne le « **conditionnement laser** », il a été démontré que le cristal KDP utilisé dans le projet Mégajoule et NIF pour réaliser le passage 1064nm -355nm, peut voir doubler sa tenue au flux laser grâce à une pré irradiation spécifique (**Figure 2-4**). Le KDP est un cristal pouvant être réalisé en pousse rapide (Fig.2-4 b) et fournit ainsi les larges optiques (40X 40cm) des lignes laser. Ces cristaux pousse rapide présentent cependant des inhomogénéités limitant actuellement la puissance laser requise pour le projet. Ces études sont menées en collaboration avec le **CEA Le Ripault depuis 2003**, notre collaboration consiste à identifier le rôle de ces inhomogénéités, afin d'optimiser le processus de conditionnement [7].

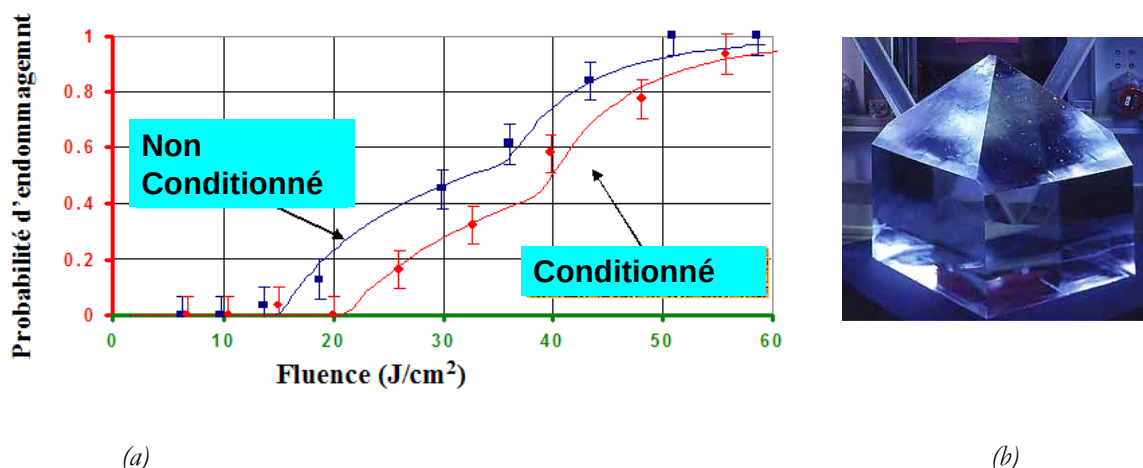


Fig.2-4 : (a) Conditionnement du KDP pousse rapide par pré-irradiations laser excimère : effet sur la tenue au flux à 355nm, (b) Cristal de KDP pousse rapide avant découpe

IV.2.4. Etude de l'endommagement laser dans les couches minces optiques (RCMO-MAP2)

(Thèse H. Krol 03-06 maintenant ingénieur CILAS)

Forts de notre double expertise couches minces et endommagement laser, nous avons lancé un projet d'envergure pour l'obtention de couches minces optiques résistantes au flux. Notre démarche est basée sur l'optimisation des différentes étapes (polissage, nettoyage, dépôt). L'étude a commencé avec des couches de SiO_2 , matériau très utilisé dans les composants pour lasers de puissance. Nous avons montré qu'il était possible de fabriquer des couches minces à la fois denses (techniques d'assistance ionique) et très résistantes au flux laser (proches des substrats pour haute tenue au flux) (**Figure 2-5**) [4]. L'objectif est de réaliser des composants $\text{SiO}_2/\text{HfO}_2$ haute tenue au flux pour l'UV et le proche infrarouge.

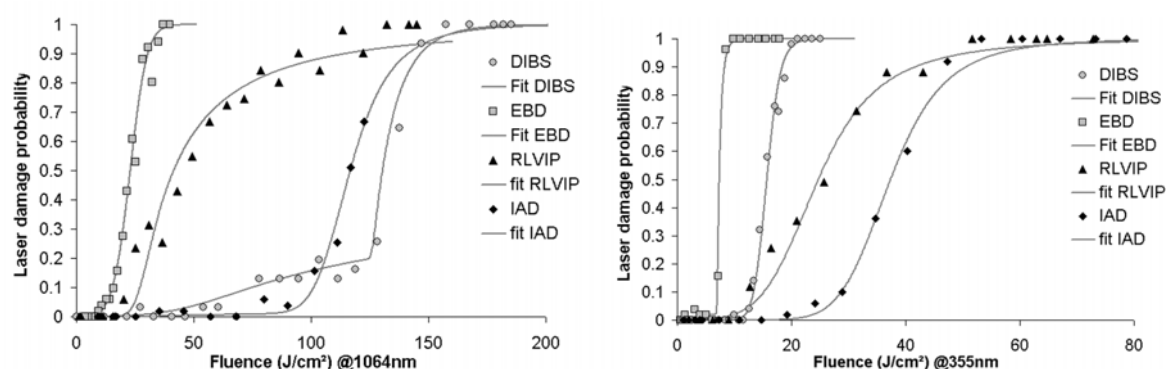


Fig.2-5: Comparatif de la tenue au flux de couches minces de SiO_2 réalisées par différentes technologies à l'IF.

IV.2.5. Etude de l'endommagement dans l'infrarouge – Banc CAMELIA

(Thèse H. Krol)

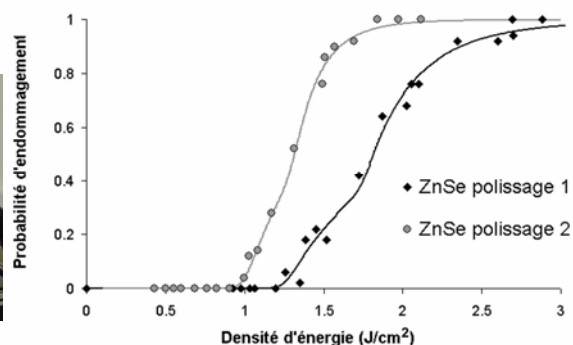


Figure 2-6 : Banc de mesure et exemple de l'influence du polissage du ZnSe sur la tenue au flux à 2 μm .

Cette étude est réalisée dans le cadre de la thèse CIFRE de H. Krol avec CILAS Marseille (soutenance novembre 2006). A partir du nouveau banc d'endommagement développé (CAMELIA), on s'est intéressé à la tenue au flux de composants multicouches déposés sur ZnSe pour $\lambda=2\mu\text{m}$ (**Figure 2-6**). Cette ouverture vers l'IR est *stratégique*. H. Krol a également développé un nouveau modèle d'interprétation des courbes basé sur une distribution gaussienne du seuil d'endommagement des défauts précurseurs [15].

IV.2.6. Etude de l'endommagement laser dans les cristaux non linéaires et leurs traitements optiques

(Thèse A. Hildenbrand 05-08 et B. Bussière 06-09)

L'endommagement des cristaux utilisés dans les applications laser de puissance (KTP, KTA, LBO, YAG, KGW...) est un problème critique. Nos études portent sur l'influence du matériau sur la tenue au flux, les problèmes induits par les états de surface, l'influence des traitements en couches minces, la tenue au flux aux longueurs d'onde laser (355 et 532 nm ; 1,06, 1,5 et 3,3 μm), la relation avec l'absorption optique, l'étude de la « fatigue » des cristaux. Ces travaux font l'objet de collaborations CNES (CHEMCAM), THALES et CRISTAL LASER (Thèse DGA). On présente **figure 2-7** un exemple de mesure sur cristal RTP. Une thèse CIFRE en collaboration avec LP3, LOA et Amplitude Technologies débute par ailleurs sur la tenue au flux des cristaux TiSa en régimes nano et pico seconde [63].

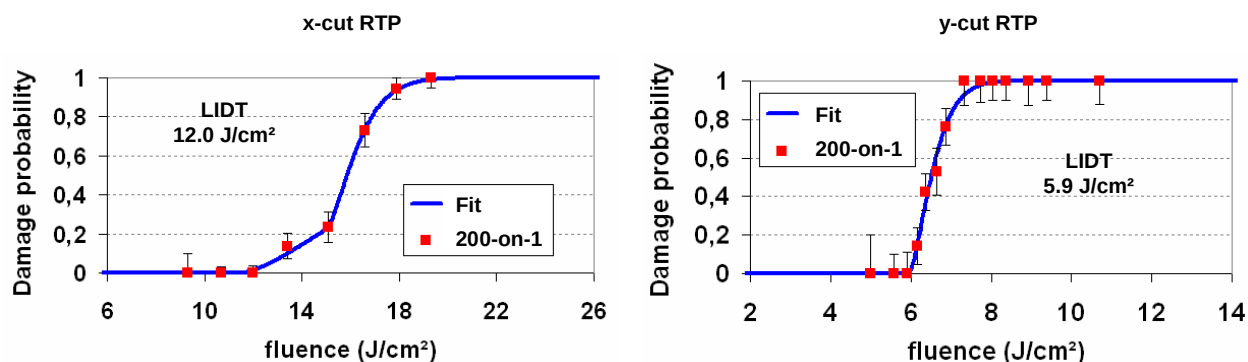


Fig.2-7: Exemple de mesure sur cristal RTP montrant l'influence de l'orientation cristalline sur la tenue au flux du cristal

IV.2.7. Réparation et stabilisation des dommages

Les problèmes d'endommagement sont souvent liés à la présence de défauts en faible densité sur lesquels un dommage s'initie et croît lors de tirs ultérieurs. Une voie pour améliorer la tenue au flux laser est de 'réparer' les optiques endommagées, ou d'empêcher la croissance des dommages. Ce concept, appelé 'stabilisation', a montré son efficacité grâce aux techniques de fusion/évaporation locale par laser CO₂ (CEA, LLNL). Un chercheur de l'équipe a participé d'avril à juin 2005 à des expériences de stabilisation au Lawrence Livermore National Laboratory. Un banc de stabilisation est en développement à Fresnel (collab. CEA CESTA), couplé à un microscope multicaractérisation (absorption, diffusion, luminescence, imagerie et spectroscopie).

IV.2.8. Tenue au flux de composants microstructurés (miroir de phase)

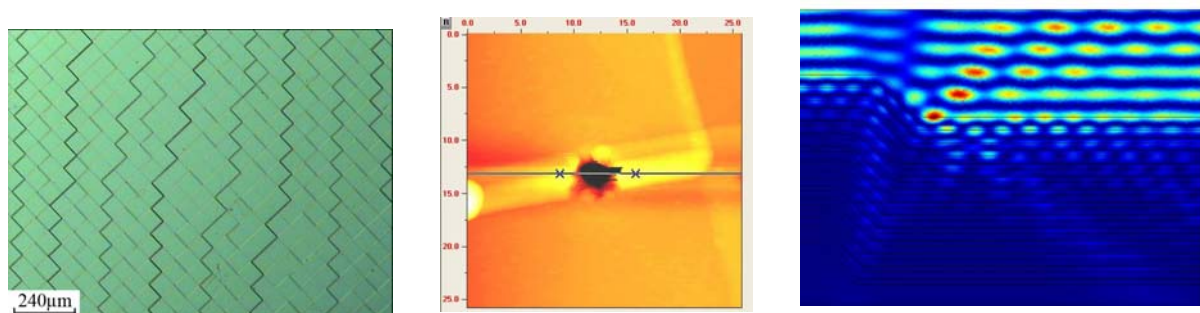


Fig. 2-7: Image Nomarski d'une zone du composant (gauche). Exemple d'image AFM d'un endommagement induit au niveau d'une marche (milieu) et calcul de l'intensité électromagnétique dans la structure multicouche (à droite) réalisée sous Comsol Multiphysics.

Cette étude est réalisée en collaboration avec Silios Technologies qui réalise des miroirs de phase traités multicouches pour la mise en forme de faisceaux laser. La définition de la procédure de mesure est extrêmement importante. Les morphologies d'endommagement sont étudiées. Un mécanisme d'initiation possible peut être une surintensité de champ électromagnétique au niveau des marches (**Fig. 2-7**)

IV.2.9. Activité optique non linéaire

(Thèses O. Thomas 99-03 maintenant MCF LTSI Saint Etienne et F. Billard 01-05, Post Doc IF)

L'étude des phénomènes non linéaires permet d'améliorer la compréhension de l'interaction laser-matière. Plusieurs phénomènes non linéaires dont l'effet Kerr optique sont suggérés pour être à l'origine de l'endommagement laser dans les verres. Deux bancs Z-Scan ont été développés (collab. CEA CESTA et plateforme PP) et appliqués à la mesure de n_2 'l'indice de réfraction non linéaire' et du coefficient d'absorption non linéaire de différents matériaux : verres optiques (silice, BK7, C20) et matériaux contenant des 'nanoparticules' métalliques (collab. RCMO). Ces études ont été conduites pour des faisceaux nanoseconde à $\lambda=1064$ et 532nm et avec une source picoseconde/ sub-picoseconde à $\lambda=800\text{nm}$ [22,62,79,86]. Les efforts se sont portés sur une caractérisation fine des propriétés spatiales et temporelles des faisceaux lasers. Le modèle rigoureux de propagation tient compte des caractéristiques des faisceaux mesurées sur le banc et permet ainsi d'accéder avec une précision suffisante à la valeur de n_2 . Ces études ont été conduites dans le cadre de deux thèses MENRT. Elles ont obtenu le prix du meilleur poster au Laser-Induced Damage Symposium à Boulder en 2004. Un exemple résumé des grandeurs mesurées obtenues est fourni par le graphe récapitulatif suivant où est représenté n_2 (m^2/W) (**Figure 2-8**).

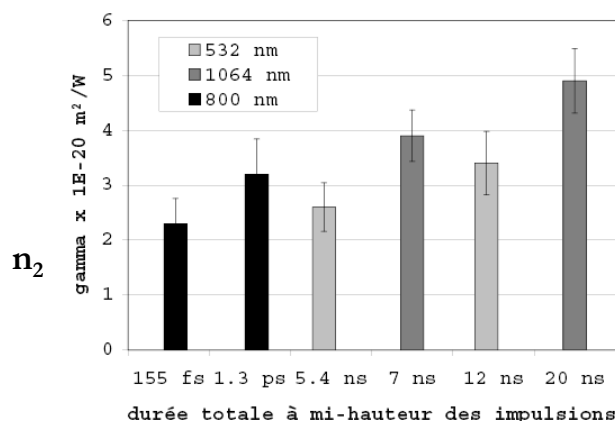


Figure 2-8: Valeurs de l'indice de réfraction non linéaire n_2 mesurées par méthode Z-scan

IV.3. Thème : Diffusion Lumineuse

C. Deumié (Responsable), C. Amra

L'étude de la diffusion électromagnétique en champ lointain fournit des *techniques efficaces d'analyse sans contact* des surfaces et des volumes dans les composants optiques, milieux aléatoires ou milieux complexes ; elle permet également de créer et/ou contrôler une source de lumière spécifique par structuration de la matière. L'activité *diffusion lumineuse* de l'équipe MAP2 date des années 80, et a longtemps été motivée par la *minimisation des pertes* dans les composants multicouches interférentiels. Si cette activité liée aux couches minces optiques se poursuit et bénéficie de conférences invitées internationales et de publications dans des revues de rang A, elle est aujourd'hui associée à un *grand renouveau au sein de l'équipe : couleur, cosmétique, microélectronique, cognitif, furtivité, biomédical, imagerie en milieu diffusant...* Ce renouveau a bénéficié de *ressources humaines modestes* (1,3 chercheur), même si les conséquences ne se mesurent pas sur la production scientifique (11 RICL, 1 brevet) ou contractuelle (environ 600k€). On retiendra que l'activité traite aujourd'hui indifféremment des composants à faibles ou fortes pertes, jusqu'à des échantillons totalement diffusants. Dans ce contexte, de nouveaux instruments en salle blanche et des modélisations rigoureuses ont été développés pour aider à l'analyse des données. Précisons que ces outils d'analyse, même s'ils requièrent des développements fondamentaux, ne constituent pas un objectif en soi mais sont développés en regard de l'application recherchée. De façon générale, *c'est de nos expérimentations que naissent les premières idées, que nous abordons ensuite de façon phénoménologique, avant de les valider et les étendre grâce aux modèles théoriques rigoureux*. On présentera ici les développements qui ont conduit à des *résultats marquants capables de lever des verrous* scientifiques ou technologiques.

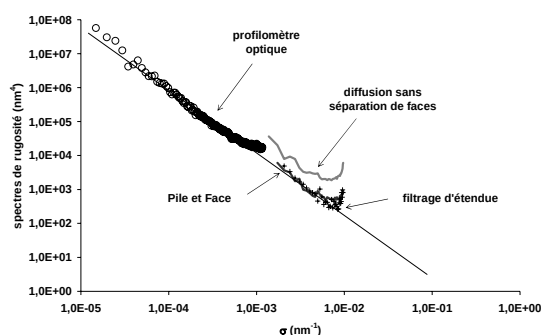
IV.3.1. Métrologie des substrats transparents

(Thèse M. Zerrad 03-06 maintenant IR UPC Fresnel)

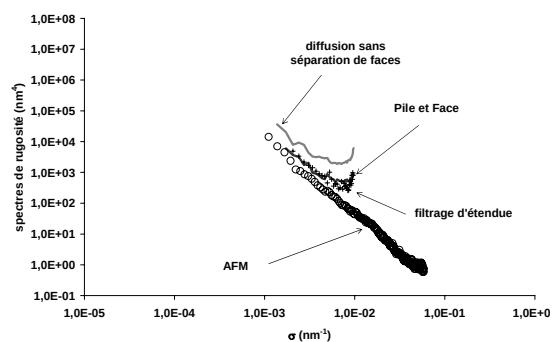
Utilisée pour caractériser la rugosité des états de surface, la technique de diffusion en champ lointain a toujours été limitée au cas des surfaces opaques. Des techniques alternatives existent (microscopie optique, champ proche, profilomètre...), mais souffrent d'autres limitations comme le positionnement de la bande passante de mesure qui ne correspond pas à celle de l'application recherchée,

ou l'impossibilité de scruter les différentes surfaces d'un multicouche, de séparer les contributions relatives des défauts localisés et de la rugosité intrinsèque, de discriminer des effets de surface et de volume...

Dans ce contexte nous avons été contactés pour la mise en œuvre d'un contrat européen CRAFT dénommé DACO ayant pour objectif la réalisation et la commercialisation de lasers femto-seconde compacts. Notre contribution a concerné la caractérisation de substrats super-polis transparents dont les pertes normalisées ne devaient pas excéder quelques 10^{-6} afin de ne pas réduire le gain laser. Pour atteindre cet objectif, il nous a fallu lever le verrou de la caractérisation des substrats transparents grâce à 2 méthodes que nous avons mises en œuvre, la première étant basée sur un principe de « filtrage d'étendue » (en collaboration avec l'équipe RCMO) et la seconde sur le « retournement » de l'échantillon. Les résultats de ces 2 techniques ont été confrontés avec succès [9], puis « extra-validés » grâce aux techniques de microscopie optique et de champ proche, par extrapolation fréquentielle des spectres de défauts. L'ensemble de ces résultats est illustré en **figure 3-1**.



Microscopie interférentielle et diffusion lumineuse avec et sans séparation de faces (fig.3-1-a)



Microscopie AFM et diffusion lumineuse avec et sans séparation de faces (fig.3-1-b)

Précisons que le succès de la procédure expérimentale est aussi directement lié à l'extension de nos codes de calcul en lumière incohérente. Le contrat européen nous a également permis de rénover entièrement les équipements de diffusion qui sont désormais placés en salle blanche. Ils ont été complétés d'un microscope à force atomique ainsi que d'un microscope/profilomètre optique de type Taylor Hobson.

IV.3.2. « Pixélisation » de la BRDF : Analyseur Optique de Surface (collaboration RCMO)

(Thèse M. Zerrad)

Un autre verrou à lever consistait à séparer la *contribution des effets de rugosité intrinsèque* (topographie continue et dérivable...), de celle des défauts localisés distribués à faible densité sur les optiques de précision. Avec la qualité des outils de polissage mis en œuvre aujourd'hui, les niveaux de diffusion couramment mesurés n'excèdent pas quelques 10^{-6} du flux incident, et relèvent plus souvent de la présence de nano-piqûres ou poussières..., que d'une topographie intrinsèque. Dans ces conditions, les rugosités affichées (une fraction d'Angström) pour les optiques de qualité ultime ne sont pas toujours réalistes, car intègrent ces 2 composantes simultanément (topographie intrinsèque et défauts localisés). Ce problème est d'autant plus critique qu'il est rare qu'un verre poli ne présente pas au moins un nano-défaut dans un champ de 1mm^2 . Enfin, ces nano-défauts jouant un rôle clé dans les processus d'initiation des phénomènes d'endommagement laser et leur détection encore délicate constitue une priorité pour le développement de cette thématique. Lors d'une analyse par diffusion lumineuse, la surface éclairée au niveau du composant étudié est en général de quelques mm^2 .

L'analyse s'effectuant traditionnellement dans le plan de Fourier, la dimension caractéristique de cette surface éclairée ne peut être bien inférieure à la centaine de micromètres, sous peine d'accroître la perte d'information liée au moyennage du speckle. Ceci nous interdit en premier lieu d'accéder à une analyse localisée sur l'échantillon, et rend difficile l'extraction de la contribution des défauts localisés. Pour résoudre ce point, nous avons mis en œuvre *un nouveau dispositif de mesure de lumière diffuse*, grâce à l'association d'une caméra hautes performances, d'une source incohérente et d'un système télécentrique. Cet instrument a déjà fait ses preuves et permet l'enregistrement simultané de la BRDF angulaire pour différents éléments de surface, et à *différentes résolutions latérales*. Par rapport aux instruments précédents, le principe de réciprocité nous a conduit à faire varier l'incidence d'éclairement, pour une direction de diffusion fixe. Le fait que l'élément de surface puisse être choisi en taille et position sur l'échantillon offre des avantages notables, et lève le verrou de la caractérisation séparée des défauts isolés et du fond de rugosité.

IV.3.3. Ellipsométrie sur champ diffus

(Thèses O. Gilbert 00-03 maintenant post doc CEA puis G. Georges 04-07)

Dans les années 97, nous avons montré comment les études polarimétriques du flux angulaire diffusé pouvaient servir à *identifier* dans certains cas *l'origine de la diffusion* (surfaces et volumes...). Il s'agit là d'un problème récurrent qui n'avait pas trouvé de solution avérée, en dépit d'une demande dans de nombreux secteurs (optique, microélectronique, télédétection, biomédical...). Nous pensons désormais avoir levé ce verrou grâce aux techniques d'ellipsométrie sur champ diffusé. Pour atteindre cet objectif, nous avons tout d'abord complété le diffusomètre classique (10 axes motorisés, raies laser UV-VIS-PIR-MIR) pour accéder au *déphasage polarimétrique* dans chaque direction de l'espace, à basse ou haute résolution. Un élément photo-élastique (50 kHz) et 2 analyseurs tournants ont été ainsi introduits sur la ligne de détection, pour enregistrer 2 harmoniques de diffusion à chaque direction. Les premiers résultats[28] sur des échantillons faiblement diffusants ont révélé des *sauts de phase caractéristiques* de l'origine de la diffusion, ce qui a permis de résoudre le

problème de discrimination surface/volume dans le cas des composants optiques. Cette discrimination ne nécessite pas de connaissance à priori sur la microstructure à détecter, ce qui constitue un avantage notable. Dans une deuxième étape, nous avons voulu savoir si ces méthodes étaient encore valides dans le cas d'échantillons fortement hétérogènes ou totalement diffusants. Les résultats obtenus en 2005 [14] ont répondu de façon positive, puisque dans la grande majorité des cas on observe que les oscillations angulaires du déphasage induit par la rugosité n'excèdent pas la vingtaine de degrés, alors qu'elles sont uniformément distribuées dans l'intervalle $(0, 2\pi)$ dans le cas volumique. Pour compléter l'investigation, nous avons itéré les mesures avec une résolution angulaire plus fine, de l'ordre d'une fraction de degré. La **figure 3-2** illustre le succès de la méthode lorsque c'est le *grain de speckle* qui est adressé.

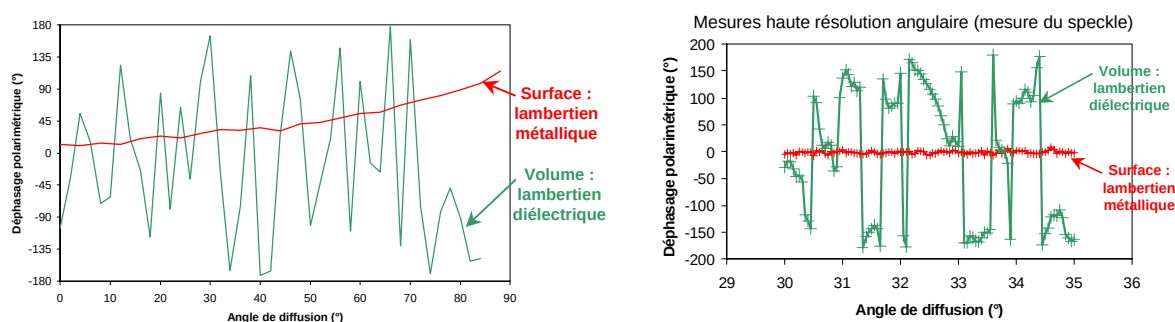


Figure 3-2: Déphasage polarimétrique dans le cas d'échantillons fortement diffusants en surface ou volume, pour une basse (fig. gauche) ou haute (fig. droite) résolution angulaire.

Ces résultats expérimentaux ont tout d'abord été confortés par une approche théorique *phénoménologique* [30] avant d'être récemment validés par une approche électromagnétique *rigoureuse* (avec les conseils de CLARTE) qui a nécessité la mise en place d'un code différentiel en cours d'extension au cas tridimensionnel [14]. On notera cependant la limite de validité de la procédure pour des surfaces de fortes pentes ; toutefois, ce type d'échantillons est rarement rencontré, d'où le succès de la méthode. Les applications ont rapidement crû suite à ces résultats, et nous collaborons actuellement avec des chimistes pour l'analyse de membranes... Il est utile ici de préciser que les discussions avec l'équipe PHYTI sur les phénomènes polarimétriques ont été fructueuses, et devraient encore s'accroître dans le domaine de l'imagerie en milieu diffusant (partie suivante). Une représentation sur la sphère de Poincaré (**figure 3-3**) traduit l'essentiel des résultats obtenus quant à la séparation des effets de surface et de volume.

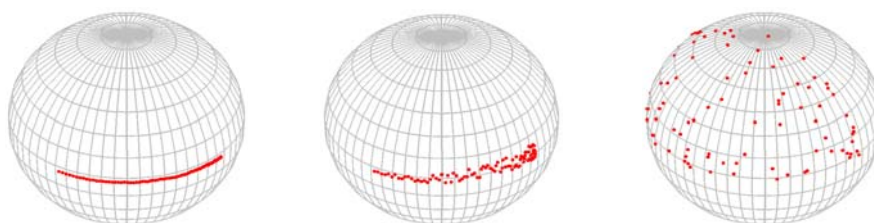


Figure 3-3 : Lien de la polarisation de l'onde diffusée avec la direction, pour des surfaces faiblement (fig. gauche) et fortement (fig. milieu) diffusantes, et pour un volume (fig. droite) fortement diffusant

IV.3.4. Imagerie en milieu diffusant

(Thèse G. Georges)

Les développements précédents nous ont naturellement conduits à nous intéresser au domaine de *l'imagerie en milieu diffusant ou aléatoire* [118]. En effet, ayant montré dans tous les cas que le grain de speckle diffusé en lumière monochromatique pouvait être très fortement polarisé, il était possible d'annuler ce speckle grâce à un jeu d'interférences destructrices entre états de polarisation, en introduisant sur le montage des éléments biréfringents pilotables. Par ailleurs, il était également possible de limiter cette *annulation à la diffusion d'objets spécifiques*, tout en conservant la diffusion par d'autres objets. C'est sur ce principe de base [1,10] que nous nous sommes appuyés pour prédire l'annulation de sources spécifiques de diffusion, ce qui nous permet aujourd'hui d'observer les rugosités en s'affranchissant des volumes, ou inversement. Les développements futurs pourraient être majeurs, compte tenu du nombre d'applications en milieu sous-marin ou de type brouillard, biomédical et cosmétique...

Dans le cas d'objets ou de scènes faiblement perturbés, les paramètres d'annulation de la lumière diffuse spécifique sont ajustés à l'aide d'un analyseur tournant (condition sur l'intensité) et d'un déphaseur accordable (condition sur la phase). Ces paramètres *ne dépendent pas de la microstructure de l'objet à éliminer* mais seulement de l'origine de la diffusion (surface ou volume). Ils varient lentement avec l'angle de diffusion. Le cas des fortes diffusions est plus complexe à mettre en œuvre, mais les principes demeurent inchangés. Une différence majeure réside dans le fait que les paramètres d'annulation *dépendent cette fois de la microstructure des objets* ou scènes à éliminer ; de plus ces paramètres varient rapidement avec la direction de diffusion. Ces considérations nous amènent à envisager d'utiliser des matrices de déphaseurs, pour un réglage pixel par pixel. On peut retenir cependant, dans l'attente des prochaines expérimentations, que les théories phénoménologiques ou électromagnétiques ne laissent entrevoir aucune impossibilité pour l'extension de la procédure aux milieux très diffusants. Toutefois, et comme indiqué dans la partie précédente, la méthode pourra trouver une limite dans le cas de fortes hétérogénéités à faible longueur de corrélation, entraînant une variation rapide des termes de phase dans le speckle de l'onde diffuse. Dans une telle situation, il faudra tenir compte d'une dépolarisation partielle, et remplacer les paramètres d'annulation par des paramètres de minimisation. La **figure 3-4** illustre l'ensemble de ces commentaires.

En résumé, on retiendra qu'il suffit que les différents objets (ou distributions d'objets) éclairés dans une scène exhibent un comportement polarimétrique spécifique pour que nous puissions espérer les observer séparément [1]. On peut tenter de positionner cette activité dans le contexte de *l'imagerie polarimétrique*, où le contraste actuel est optimisé à l'aide de quelques polarisations. Dans le cas présent et par analogie, notre procédure consisterait à réaliser une *imagerie ellipsométrique améliorée* (balayant tous les états de polarisation), de surcroît au voisinage des états de polarisation qui assurent, par interférences destructrices, l'annulation spécifique des sources de diffusion à éliminer (contraste maximum identifié et recherché). Enfin, si la méthode précédente permet une observation de sous-ensembles d'une scène avec des objets disposés de façon latérale ou transverse, elle offre également la possibilité d'une observation séparée en altitude, ce que nous avons exploité pour une investigation de type tomographie pour les composants multicouches[1]. Cette application fait intervenir cette fois des flux spéculaires, mais son efficacité réside dans la résolution verticale (une fraction de longueur d'onde) qui correspond ici aux besoins optiques. Ces développements nous conduisent à un partenariat avec l'Institut des Sciences Cognitives de la Méditerranée pour l'observation in vivo du petit animal (cortex cérébral du singe). Parallèlement des contacts sont en cours avec des grands groupes, PME, organismes et académiques pour l'élaboration d'un projet fédérateur sur l'imagerie en milieu diffusant.

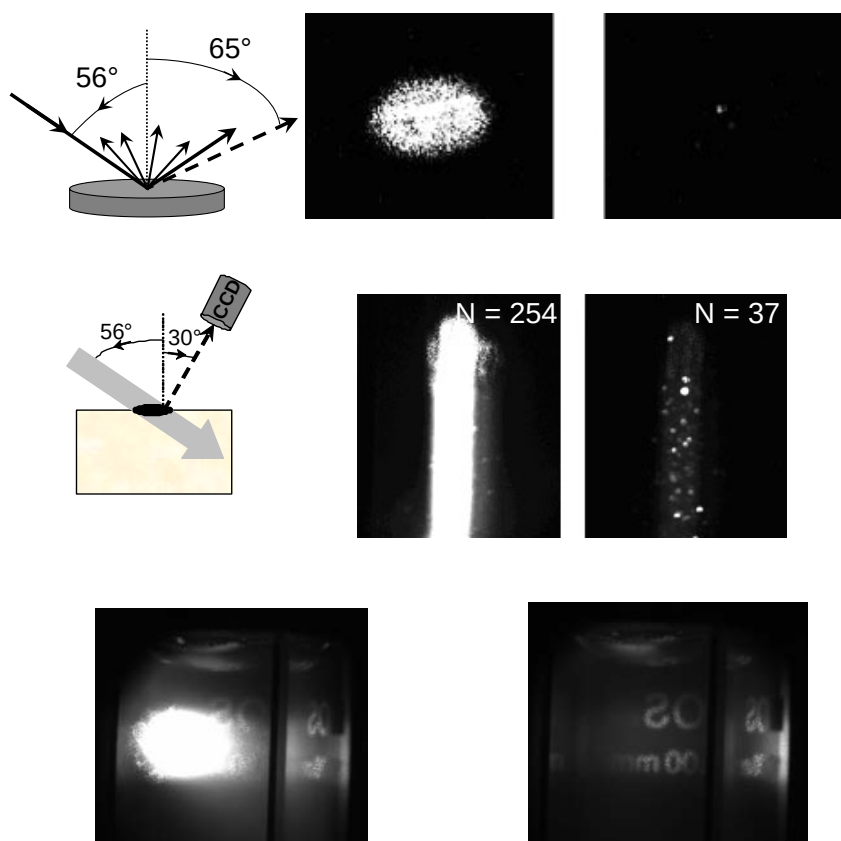


Figure 3-4 : Exemples d'annulation sélective de la diffusion de surfaces et volumes, peu ou très diffusants

IV.3.5. Scatterometry ou applications de l'ellipsométrie pour la microélectronique

(Thèse L. Arnaud 04-07, CIFRE ST Microelectronics)

Le terme *scatterometry* résulte d'un abus de langage utilisé par la communauté de la microélectronique pour adresser les méthodes optiques (réflexion ou ellipsométrie spectroscopique, diffusion et diffraction...) mises en oeuvre pour caractériser en ligne les micro ou nano-objets. Il ne s'agit pas ici de se limiter à la topographie « élémentaire » des composants, mais d'extraire de façon additionnelle la rugosité des bords de ligne et autres imperfections à réduire. C'est dans ce cadre que nous avons abordé une collaboration avec les sociétés ST Microelectronics et ATMEL via un contrat CIFRE (ST) et le soutien financier des collectivités territoriales (CREMSI/ARCSIS, CG 13, CR). Cette activité a pu rapidement bénéficier des développements ellipsométriques précédents, dans la mesure où l'acquisition des déphasages polarimétriques a été systématiquement utilisée pour la reconstruction des topographies. Cependant, les temps de calcul peuvent être prohibitifs dans certains cas, en particulier pour l'accès à la rugosité des flancs... C'est pourquoi des modèles hybrides sont en cours de développement, mêlant à bon escient méthodes perturbatives et méthodes rigoureuses. Du point de vue de l'expérience, il nous fallait étendre l'instrument de mesure à des acquisitions en dehors du plan d'incidence, ce que nous avons réalisé en *reconstruisant en totalité le diffusomètre*, aujourd'hui remplacé par un système de type *arceau tournant portant le détecteur embarqué sur un moteur glissant* permettant enfin l'accès à des mesures tridimensionnelles. Ce nouvel instrument illustré en **figure 3-5** a demandé des efforts considérables. La reconstruction a été supportée financièrement par les collectivités locales, via une labellisation par le CREMSI et au travers de la convention Rousset 2003-2008.

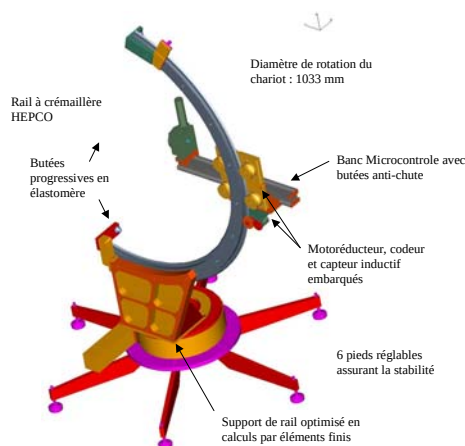


Figure 3-5 : reconstruction du diffusomètre

IV.3.6. Couleur et poudres interférentielles

(Thèses P. Voarino 00-03, post doc au CEA puis M. Zerrad)

Nos contacts avec les sociétés de cosmétique via le GDR Couleur en particulier, nous ont sensibilisé aux problèmes de *caractérisation des poudres optiques*, mais aussi à leur synthèse et leur fabrication. Dans une première étape, notre expertise en lumière diffuse a permis la détermination de l'indice complexe de poudres spécifiques, via le dépôt de couches minces sur ces poudres, associé à des mesures de diffusion dans les bandes d'absorption ou de transparence (séparation surface/volume). L'évolution de *poudres photochromiques* a également été abordée dans le détail (société Marion Technologies). Dans une deuxième étape, nous nous sommes intéressés à la possibilité de réaliser des poudres à gabarit optique pré-déterminé (fond de teint, protection solaire...) et devant fonctionner sans absorption. C'est pourquoi nous avons considéré des *poudres constituées de microsphères reconverties* de façon concentrique par des empilements de couches minces. La synthèse des composants a pu s'appuyer sur des codes basés sur la théorie de Mie qui ont eux aussi demandé des efforts notables de modélisation, et qui fonctionnent maintenant pour des systèmes multicouches transparents ou métalliques. Nous avons ensuite abordé le problème de la *réalisation de ces composants*, pour lequel il a fallu innover à 2 niveaux : d'une part, il fallait pouvoir mettre en mouvement les microsphères afin de garantir un dépôt concentrique uniforme sous vide, et d'autre part ce mouvement nous contraignait à mettre en œuvre la technologie de *pulvérisation sous vide* à peine introduite au laboratoire. Dans ce domaine, nous avons consenti un effort notable aux développements technologiques, en collaboration avec l'équipe RCMO. Parallèlement, il nous a fallu développer un spectro-diffusomètre en lumière blanche, qui donne accès simultanément à la mesure angulaire et spectrale de la diffusion pour une analyse rapide de la couleur angulaire.

IV.4. Thème : Optique pour la microélectronique

C. Fossati (Responsable), M. Commandré

L'activité « Optique pour la microélectronique » initiée en 2001 a pris son essor au sein de MAP2 en 2002-03. Elle est en lien direct avec le besoin exprimé par la société ST Microelectronics d'une expertise en optique sur des sujets de R&D, le développement d'imageurs CMOS et l'étude de masques avancés. La collaboration entre ST Microelectronics et l'Institut Fresnel sur ces thématiques se concrétise par la

mutualisation de compétences, de moyens de calcul et de caractérisation et l'encadrement de thèses. Le financement assuré dans un premier temps par des conventions de type STSI (2001-02 et 2002-03) du ministère de l'industrie, est aujourd'hui pris en charge par les collectivités territoriales (essentiellement CG13) sous forme d'un programme pluriannuel « Convention Rousset 2003-2008 » ayant impliqué progressivement d'autres thèmes de l'équipe (scatterometry) et d'autres équipes de l'Institut (GSM, MOSAIC). Sur les 4 dernières années, cette activité a mobilisé en moyenne dans MAP2 2 permanents, 2 doctorants et 2 post doc ou ingénieurs en CDD par an.

IV.4.1. Simulation et caractérisation optique d'imageurs CMOS

O. Gagliano : Post Doc IF 09/03-01/05, maintenant ingénieur ST Rousset

E. Etienne : Post Doc IF 02/04-05/06, maintenant IR CNRS

S. Pilorget : CDD IF 02/05- 01/06, maintenant ingénieur ST Crolles

F. Hirigoyen : Thèse CIFRE ST Crolles 09/02-11/05, maintenant ingénieur ST Crolles

G. Demesy : Thèse CIFRE ST Rousset depuis 03/06

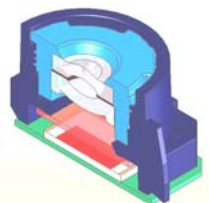


Figure 4-1 : Vue en coupe d'un module imageur CMOS pour téléphonie mobile

Le secteur de l'imagerie numérique est un secteur avec de forts enjeux économiques en termes de volumes de production et de chiffre d'affaires (~ 500 millions de capteurs, soit ~ 6 milliards de dollars de CA en 2005). Deux technologies sont présentes sur le marché : les CCD (~ 55% de la production) et la technologie CMOS. Cette dernière présente des avantages en termes de coût, faible consommation, adressage aléatoire des pixels et un procédé industriel qui permet un fort degré d'intégration. Une grosse part du marché est celle des téléphones portables. L'objectif des compagnies est de livrer des capteurs toujours plus performants, avec une meilleure résolution tout en restant à bas coût. Pour répondre à ces critères, les fabricants doivent sans cesse miniaturiser des modules directement intégrables dans le produit final (fig.4-1), et les équipes de R&D sont confrontées à des problèmes optiques liés à cette miniaturisation. L'objet de notre collaboration avec ST était dans un premier temps de proposer un modèle optique le plus fidèle possible permettant l'optimisation de la conception et de la fabrication d'imageurs avec des pixels de quelques micromètres en technologie CMOS.

Les imageurs CMOS sont constitués d'une matrice de pixels, chaque pixel (fig.4-2) étant lui-même constitué d'une photodiode qui convertit le flux lumineux en photocourant. Les photodiodes sont fabriquées au niveau du silicium, sous un empilement de couches diélectriques et métalliques liées au procédé de fabrication des transistors CMOS de commande intégrés dans chaque pixel et qui imposent ainsi à la photodiode une surface inférieure à celle du pixel complet. La première problématique consiste à avoir un flux lumineux suffisamment important, au niveau de la photodiode, pour avoir une bonne dynamique.

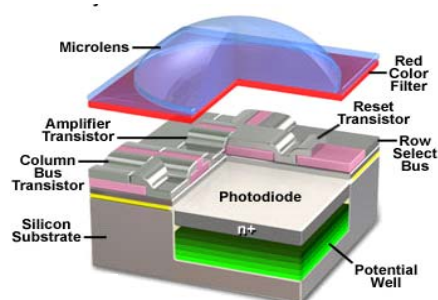


Figure 4-2 : vue en coupe d'un pixel

On place donc un réseau de microlentilles sur la partie supérieure des pixels dans le but de focaliser la lumière au travers des couches. On place au-dessus de la matrice de pixels, généralement immédiatement sous les microlentilles, un motif de Bayer réalisé à partir de résines colorées pour obtenir des imageurs couleur.

Les contraintes sur le plan optique sont directement liées à la structure des pixels et du module imageur. Les réflexions multiples, la diffusion liées aux irrégularités de topographie sont à l'origine de pertes lumineuses, de « cross talk » optique, de défauts d'appariement entre pixels... (fig.4-3). De plus, le module complet du capteur CMOS étant prévu pour être directement intégrable dans un téléphone portable, sa miniaturisation impose à la fois une très forte ouverture pour maximiser le flux lumineux sur le capteur et un rayon principal pouvant avoir une forte incidence sur le capteur cela provoque une différence de réponse entre le centre et les bords de la matrice (vignetting).

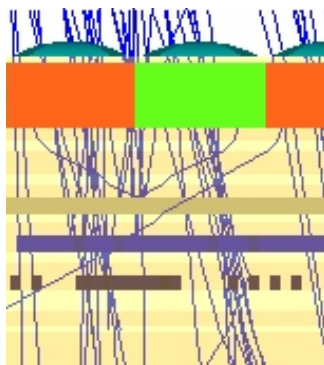


Figure 4-3 : Simulation ZEMAX dans les pixels d'une ligne RV

C'est pourquoi nous nous attachons à modéliser la partie optique du pixel, le couplage de la lumière puis son trajet dans l'empilement de couches métalliques et diélectriques jusqu'à son absorption dans le silicium..

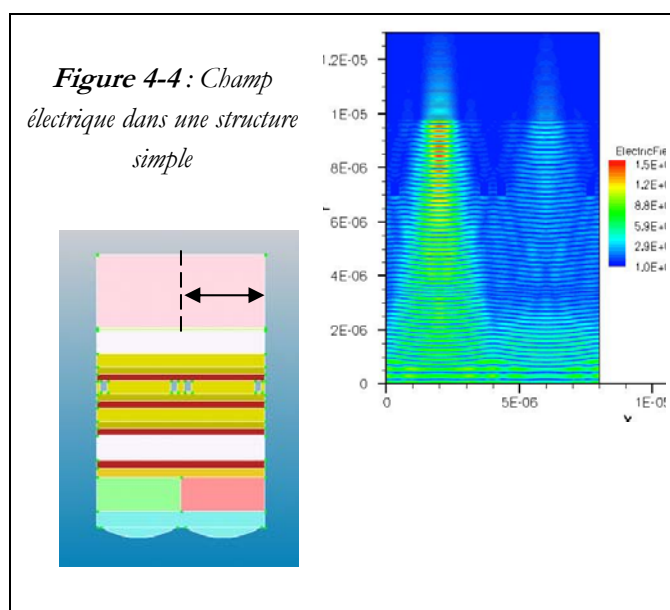
La méthodologie de simulation optique mise en place pendant la thèse de F. Hirigoyen sur le logiciel de tracé de rayon ZEMAX[®] combiné avec un post traitement de données sous Matlab[®] a été présentée à la conférence « Photonics Europe » (Strasbourg 2004). Elle a permis de mettre en place un formalisme permettant d'intégrer à la fois la topologie exacte des pixels à partir des outils de CAO utilisés en conception et des caractéristiques physiques et optiques (introduction de données mesurées par AFM, spectrophotométrie et ellipsométrie...) des différentes couches de matériaux. Deux bancs de caractérisation optique ont été mis en place dans les locaux du CCR2 (laboratoire commun à ST Rousset et à plusieurs laboratoires universitaires de la région), avec lesquels il est possible d'effectuer des caractérisations en lumière collimatée, diffuse, mono ou

polychromatique, de faire des études de réponse angulaire, des calculs de rendement quantique... et de valider les résultats obtenus par la simulation

Cet ensemble d'outils a été utilisé (travaux auxquels ont participé F. Hirigoyen, O. Gagliano, S. Pilorget) pour modéliser les pixels existants et optimiser les procédés de fabrication notamment en matière de dépôt et d'épaisseur des filtres colorés et lignes métalliques, ainsi que la forme et la répartition des microlentilles. Cela a conduit à des améliorations de sensibilité et de rendu des couleurs. Les résultats obtenus sont soumis à un fort degré de confidentialité ne permettant pas de les exposer plus en détail, mais ils ont pu en partie être présentés à la conférence « *Optical Design and Engineering II* » (Jena - 2005) [66], et font l'objet d'un dépôt de brevet (Réf. 100321 FR N°: 05 12137) [119].

Toutefois, les limites de ce type de modélisation ont été mises en évidence lorsque la taille du pixel diminue: la collecte des photons dans le silicium est approximée de manière grossière si l'on ne prend pas en compte les phénomènes de diffraction.

Une modélisation rigoureuse du système nécessite donc l'évaluation de la répartition du champ électrique dans l'ensemble de la structure par la résolution des équations de Maxwell et l'utilisation de modules électromagnétiques de logiciels tels que Sentaurus® ou Comsol Multiphysics®. De cette manière, il sera possible à la fois de tenir compte du silicium, et de la densité de probabilité de collection de porteurs photo créés en fonction des zones de charges d'espace et de dopage, et de modéliser les effets de diffraction liés à la taille des motifs des pixels et à la longueur d'onde de l'excitation électromagnétique.



Les études menées pendant le post doc d'E. Etienne sur Sentaurus® (fig. 4-4) ont permis à partir de structures simplifiées de pixels d'établir un critère de dimensions de ce dernier, en deçà desquelles les phénomènes de diffraction ne peuvent plus être négligés. Nous évaluons à $2\mu\text{m}$ de coté cette taille critique. Pour de telles dimensions, les résultats mettent en évidence les pertes par diffraction essentiellement dues à la présence de lignes de métaux de plus en plus rapprochées et à la perte d'efficacité en terme de focalisation des microlentilles.

La thèse CIFRE de G. Demesy commencée en mars 2006 doit mener plus avant cette étude des effets de la diffraction, en permettant à la fois de comprendre les phénomènes qui entrent en jeu et de proposer des solutions innovantes pour les fonctions de transfert optique dans les pixels de très petite taille. Les outils utilisés sont Sentaurus® (plateforme de modélisation utilisée par ST Microelectronics dans laquelle nous souhaitons pouvoir intégrer l'ensemble des étapes de simulation) et Comsol Multiphysics® pour des études plus amont concernant l'étude de nouvelles structures à définir, modéliser et enfin tester sur le banc de caractérisation. Ce travail est mené en **collaboration avec l'équipe CLARTE (F. Zolla et A. Nicollet)**. Des structures de test correspondant aux premières modélisations réalisées seront opérationnelles fin 2006 et nous permettront de valider nos outils de simulation sous Comsol®.

IV.4.2. Masques avancés (collaboration GSM)

- M. S. Costes : thèse CIFRE 04/04 - 06/06 ST Rousset maintenant ingénieur chez Mentor Graphics
- E. Robert : thèse CIFRE 09/03 -09/06 ST Crolles maintenant ingénieur

- R. Sabatier : thèse CIFRE ST Rousset à compter de décembre 2006

La définition et la réalisation de géométries pour les technologies CMOS inférieures à $0.15\mu\text{m}$ font émerger de nouveaux challenges en termes de fabrication, en particulier pour les aspects de photolithographie. En raison des phénomènes de diffraction présents à cette échelle, les motifs imprimés sur la plaquette de silicium ne sont pas toujours fidèles à ceux du masque.

Dans le cadre de l'optimisation des masques les distorsions introduites par chaque élément de la chaîne d'illumination doivent être anticipées et compensées afin d'assurer une parfaite fidélité entre les géométries finale et initiale. Ces anticipations et compensations sont couvertes par la simulation des distorsions ; leurs corrections sont apportées au niveau du masque sous forme de "correction optique de proximité" (OPC, Optical Proximity Correction) fig.4-5, ou de traitement de la phase du rayonnement optique utilisé pour l'insolation de la résine photosensible (PSM, Phase Shift Mask).

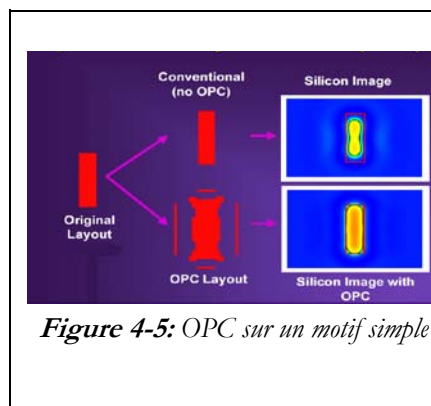


Figure 4-5: OPC sur un motif simple

La modélisation est effectuée à partir des logiciels Calibre Work Bench[®] (simulation des masques pour optimisation de leur effet par une méthode semi empirique) et Solid CT[®] (simulation des étapes de photolithographie pour optimisation de l'impression des motifs sur la résine). Le but de notre étude est d'obtenir une plate-forme de simulation complète. Une interface a été créée à cet effet entre SOLID-CT[®] et ISE-TCAD[®] (simulateur de comportements électriques de transistors) [64]. La compréhension et l'analyse mathématique des algorithmes utilisés dans les logiciels commerciaux sont stratégiques.

Pour optimiser l'utilisation de Calibre et maîtriser davantage la génération de modèles OPC, une étude des algorithmes de calcul de ce logiciel a été effectuée. Il base ses calculs optiques sur une modélisation complexe du système optique décrit sous forme de tenseurs à 4 dimensions. Les travaux réalisés en collaboration avec l'équipe GSM (D. Mutti, S. Bourennane) ont permis de mieux comprendre le rôle des fonctions mathématiques composant le cœur du logiciel OPC et ouvrent la voie à une optimisation conséquente du logiciel. Nous prévoyons d'utiliser de nouvelles méthodes d'estimation du signal et d'introduire une modélisation des phénomènes physiques pour proposer des solutions innovantes, fiables et rapides. La thèse CIFRE ST Microelectronics de R. Sabatier débutera en décembre 2006, elle sera l'objet d'un co-encadrement MAP2 / GSM.

IV.5. Perspectives

Nous avons déjà abordé les perspectives à court terme de la plupart des thèmes, notamment en parlant des thèses, des travaux et collaborations en cours ou qui débutent à peine fin 2006. Aujourd'hui nous pensons que tous nos thèmes seront poursuivis dans les années futures. Cependant, nous distinguerons ici deux thèmes émergents dont l'importance est appelée à croître dans les prochaines années.

Il s'agit tout d'abord de l'interaction laser-matière aux échelles femtoseconde et son application à la nanostructuration de composants optiques multicouches (**Projet ANR 2006 FESTIC porté par RCMO**). Ce projet débute en décembre 2006 en collaboration avec RCMO, le LP3, le LOA et les sociétés Amplitude Technologies et CILAS Marseille.

Par ailleurs en ce qui concerne la diffusion lumineuse la priorité sera mise en particulier sur les *techniques d'ellipsométrie sur champ diffus et d'imagerie en milieu aléatoire*, compte tenu des résultats marquants obtenus et des développements attendus, ainsi que des collaborations en cours (chimie, biomédical, cosmétiques et cognitif, optique sous-marine...). ***L'effectif des permanents travaillant sur le sujet étant très réduit, une priorité de l'équipe est de recruter sur ces thématiques.*** Parallèlement nos nouveaux systèmes de mesure devraient permettre de progresser notablement dans le domaine de la métrologie et l'endommagement laser.

Enfin précisons que pour le domaine des imageurs CMOS nous sommes impliqués (en collaboration avec GSM) dans un projet AII porté par ST Microelectronics sur le développement de nouvelles applications des imageurs CMOS (MinImage).

IV.6. Rayonnement

IV.6.1. Organisation de congrès et conférences

Comités d'Organisation et (ou) Scientifiques, ou responsabilité*, des congrès suivants :

- *Optical Interference Coatings (Tucson, Juillet 2007)- *congrès international triennal unique de la communauté "couches minces optiques"*, (C. Amra)
- Optical Interference Coatings (Tucson, Juillet 2007)- *congrès international triennal unique de la communauté "couches minces optiques"*, (M. Commandré)
- *Journée thématique "Couches minces optiques" du 30/11/2006, Marseille. (J.Y. Natoli)
- Laser Induced Damage in Optical Materials (Boulder, Septembre 2006)- congrès annuel unique de la communauté "*tenue au flux*", (C. Amra)
- 3rd International Conference Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT), Tunisia, Mars 2006. (C. Amra)
- Comité d'organisation du Colloque Mesures Optiques pour l'Industrie – Nov 2006, (C. Deumié)
- Comité d'Organisation d'Euromedim – Mai 2006 (conférence internationale sur l'imagerie médicale), (C. Deumié)
- *Advances in Optical Thin Films II, Jena, September 05- Congrès triennal européen unique sur les couches minces optiques, (C. Amra)
- Advances in Optical Thin Films II, Jena, September 05- Congrès triennal européen unique sur les couches minces optiques, (M. Commandré)
- Laser Induced Damage in Optical Materials (Boulder, Septembre 2005)- congrès annuel unique de la communauté "*tenue au flux*", (C. Amra)
- Advanced Characterization Techniques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies, Annual meeting of SPIE, July 30–August 4, San Diego 2005. (C. Amra)
- Comité d'organisation du Colloque Mesures Optiques pour l'Industrie – Nov 2005, (C. Deumié)
- Workshop européen dans le cadre du contrat européen CRAFT DACO – 2005 – (C. Deumié)
- Laser Induced Damage in Optical Materials (Boulder, Septembre 2004)- congrès annuel unique de la communauté "*tenue au flux*", (C. Amra)
- Optical Interference Coatings (Tucson, Juillet 2004)- *congrès international triennal unique de la communauté "couches minces optiques"*, (C. Amra)
- Meeting of the American Vacuum Society (Dallas, Avril 2004), (C. Amra)
- « Scatterometry 3D », Conférence internationale, Porquerolles mai 2004. (M. Commandré)
- Comité scientifique de l'Ecole du GDR Couleur – sept 2004 (C. Deumié),
- Co-responsable de l'atelier « Caractérisation et modélisation de la couleur et des effets visuels » Nov 2004 (C. Deumié).
- Comité d'organisation des journées JHEELS, Marseille, Mars 2004, (C. Deumié)
- Advanced Characterization Techniques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies, Annual meeting of SPIE, San Diego, Août 2003, (C. Amra)
- Laser Induced Damage in Optical Materials (Boulder, Septembre 2003)- congrès annuel unique de la communauté "*tenue au flux*", (C. Amra)
- High Level Expert Meeting in Optical Interference Coatings (Bonassola, Septembre 2003), (C. Amra)

- *Optical Interference Coatings (St Etienne 2003)- Congrès triennal européen unique sur les couches minces optiques, (C. Amra)
- Optical Interference Coatings (St Etienne 2003)- Congrès triennal européen unique sur les couches minces optiques, (M. Commandré)
- Laser Induced Damage in Optical Materials (Boulder, Octobre 2002) - Congrès annuel unique de la communauté "*tenue au flux*", (C. Amra)
- Advanced Optics for Microelectronics, Aout, San Diego 2002, (C. Amra)

IV.6.2. Conseils scientifiques

- Membre du conseil stratégique du CREMSI (Centre Régional d'Etudes en Microélectronique et Systèmes Interactifs), puis à partir de sa création en 2005 d'ARCSIS (Association pour la Recherche sur les Composants et les Systèmes Intégrés Sécurisés), une des associations porteuses du pôle de compétitivité Solutions Communicantes Sécurisées, et contribution à la mise en place de CIM PACA et du pôle SCS ... Forte implication pour le développement économique régional. (M. Commandré)
- Membre de la commission projets du pôle SCS, (M. Commandré)
- Membre élu du Conseil scientifique EGIM depuis octobre 2004. (M. Commandré)
- Membre du comité scientifique du GDR « Couleur et matériaux à effets visuels » (C. Amra),
- Membre du Collectif Andromède en PACA (C. Amra)
- Membre Fondateur et membre élu du Conseil d'Administration du « Pôle d'Optique et de la Photonique du Sud » depuis 2001, membre du bureau de Pop Sud jusqu'à 2006 (C. Amra).
- Membre du comité de pilotage du pôle de compétitivité Systèmes Complexes d'Optique et d'Imagerie depuis 2005, et du premier comité de pilotage du projet ITER (C. Amra).

IV.6.3. Referee

Referee pour plusieurs revues internationales: JOSA A&B, Applied Optics, Optics Letters, Optics Express, Optics Communication, Thin Solid Films... (C. Amra, C. Deumié, M. Commandré, J.Y. Natoli, L. Gallais)

IV.6.4. Divers

- Expert pour l'ESA (European Space agency) dans le cadre du "Laser Risk Reduction Working Group", sur l'endommagement laser des optiques dédiées au spatial (projet ALADIN - Atmospheric Laser Doppler Lidar Instrument).(J.Y. Natoli)
- Membres du groupe de travail sur l'endommagement laser (GTEL) organisé par le CEA-CESTA dans le cadre de l'avancement du projet Mégajoule. (J.Y. Natoli, M. Commandré, L. Gallais).
- Coordinateur de la collaboration de l'équipe MAP2 avec les quatre centres du CEA (CESTA Bordeaux, Le Ripault, Bruyère-Le Châtel et LETI). (J.Y. Natoli)
- Expert pour le Fond Canadien de l'Innovation (C. Amra)
- Expert pour la Direction Générale de l'Armement, l'ANVAR, la Ville de Marseille, l'ANRT, les projets de collaboration France-Amérique Latine, la Région PACA, la Région Rhône-Alpes, l'ANR, et quelques universités canadiennes (Québec) et américaines (Géorgie)... (C. Amra)
- Expert pour la DSPT 9 (M. Commandré)
- Expert pour Région Rhône Alpes (M. Commandré)
- Expert pour l'ANRT (M. Commandré)
- Membre nommé du Conseil National des Universités (63^{ième} section) depuis 2003 (C. Amra)
- Expert pour la Mission Scientifique et Technologique (MSTP) depuis 2001

IV.6.5. Activités d'intérêt collectif

- Membre de la Commission animation scientifique de l'institut Fresnel, en charge depuis 2004 de l'organisation de la journée des doctorants. (J.Y. Natoli)
- Vice présidente de la commission de spécialistes pluridisciplinaire (CSP) de l'EGIM en mars 2005. (M. Commandré)
- Membres élus de la CSP EGIM/ECM (C. Deumié puis L. Gallais)
- Membre nommé des commissions de spécialistes 63^{ème} des Universités de Provence et Paul Cézanne. (M. Commandré)
- Membre de la commission recherche de l'UFR Sciences de la matière U. de Provence (M. Commandré)
- Membre du Conseil des Etudes EGIM/ECM (C. Deumié)
- Membre du Conseil d'Administration EGIM/ECM (H. Akhouayri)
- Membre nommé de la CSP EGIM depuis 2004 (C. Amra)
- Membre de la commission sécurité de l'Institut Fresnel, en charge de la sécurité laser (L. Gallais)
- Gestion opérationnelle et fonctionnelle du dossier « bâtiment » de l'Institut Fresnel (C. Deumié)

IV.7. Production scientifique MAP 2

IV.7.1. Articles dans des revues avec comité de lecture

- 1 **"Z-probing of optical multilayers: theory"**, Amra C., Deumie C., Optics Letters **31** 2704 2006
- 2 **"High-Resolution Photothermal Microscope: A very sensitive tool for the detection of isolated absorbing defects in optical coatings"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Applied optics **45** 1410 2006
- 3 **"Analysis of material modifications induced during laser damage in SiO₂ thin films"**, Gallais L., Capoulade J., Wagner F., Natoli J.-Y., Commandre M., Optics Communications, doi:10.1016/j.optcom.2006.11.025, 2006
- 4 **"Laser damage resistance of silica thin films deposited by electron beam deposition, ion assisted deposition, reactive low voltage ion plating and dual ion beam sputtering"**, Gallais L., Krol H., Natoli J.-Y., Commandre M., Cathelinaud M., Roussel L., Lequime M., Amra C., Thin Solid Films, doi:10.1016/j.tsf.2006.10.011 2006
- 5 **"Simultaneous absorption, scattering and fluorescence mappings for the characterization of optical coatings and surfaces"**, Gallais L., Commandre M., Applied optics **45** 1416 2006
- 6 **"Optical Characterisation of an unknown single layer: Institut Fresnel contribution to OIC 2004 Measurement Problem"**, Lemarchand F., Deumie C., Zerrad M., Abel-Tiberini L., Bertussi B., Lazaridès B., Cathelinaud M., Lequime M., Amra C., Applied optics **45** 1312 2006
- 7 **"Detection and characterization of absorption heterogeneities in KH₂PO₄ crystals"**, Pommies M., Damiani D., Bertussi B., Capoulade J., Piombini H., Natoli J.-Y., Mathis H., Optics Communications **267** 154 2006
- 8 **"Multidielectric quarter-wave coatings on microspheres: A study in colorimetric space"**, Voarino P., Zerrad M., Deumie C., Amra C., Applied optics **45** 1469 2006
- 9 **"Light-scattering characterization of transparent substrates"**, Zerrad M., Deumie C., Lequime M., Amra C., Ewart M., Applied optics **45** 1402 2006

- 10 **"Elimination of polarized light scattered by surface roughness or bulk heterogeneity"**, Amra C., Deumie C., Gilbert O., Optics Express **13** 10854 2005
- 11 **"Photothermal investigation of the laser-induced modification of a single nanoparticle in a silica film"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Rullier J.-L., Bonneau F., Combis P., Bouchut P., Optics Communications **254** 299 2005
- 12 **"Ellipsometry of reflected and scattered fields for the analysis of substrates optical quality"**, Deumie C., Georges G., Gilbert O., Arnaud L., Amra C., Applied optics **45** 1640 2005
- 13 **"Photothermal deflection in multilayer coatings: modelling and experiment"**, Gallais L., Commandre M., Applied optics **44** 5230 2005
- 14 **"Angle resolved ellipsometry of scattering patterns from arbitrary surfaces and bulks"**, Gilbert O., Deumie C., Amra C., Optics Express **13** 2403 2005
- 15 **"Investigation of nanoprecursors threshold distribution in laser-damage testing"**, Krol H., Gallais L., Grezes-Besset C., Natoli J.-Y., Commandre M., Optics Communications **256** 184 2005
- 16 **"Effect of multiple laser irradiations on silica at 1064nm and 355nm"**, Natoli J.-Y., Bertussi B., Commandre M., Optics Letters **30** 1315 2005
- 17 **"Effect of polishing process on silica surface laser-induced damage threshold at 355nm"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Optics Communications **242** 227 2004
- 18 **"Numerical simulations for description of UV laser interaction with gold nanoparticles embedded in silica"**, Bonneau F., Combis P., Rullier J.-L., Vienne J., Bertussi B., Commandre M., Gallais L., Natoli J.-Y., Bertron I., Malaise F., Donohue J.T., Applied Physics B **78** 447 2004
- 19 **"Index determination of rough surfaces"**, Destouches N., Deumie C., Giovannini H., Amra C., Applied optics **43** 756 2004
- 20 **"Photothermal deflection microscopy for imaging sub-micronic defects in optical materials"**, During A., Fossati C., Commandre M., Optics Communications **230** 279 2004
- 21 **"Optical measurement of size and complex index of laser damage precursors : The inverse problem"**, Gallais L., Voarino P., Amra C., Journal of the Optical Society of America B **21** 1073 2004
- 22 **"Nanosecond Z-scan measurement of the nonlinear refractive index of fused silica"**, Olivier T., Billard F., Akhouayri H., Optics Express **12** 1382 2004
- 23 **"Optical properties calculated for multielectric quarter-wave coatings on microspheres"**, Voarino P., Deumie C., Amra C., Optics Express **12** 4476 2004
- 24 **"Observation by photothermal microscopy of increased silica absorption in laser damage induced by gold nanoparticles"**, Bonneau F., Combis P., Rullier J.-L., Commandre M., During A., Natoli J.-Y., Michael P., Savina M., Cottancin E., Pellarin M., Applied Physics Letters **83** 3855 2003
- 25 **"Integrated photothermal microscope and laser damage test facility for in-situ investigation of nanodefekt induced damage"**, During A., Commandre M., Fossati C., Bertussi B., Natoli J.-Y., Rullier J.-L., Bercegol H., Bouchut P., Optics Express **20** 2497 2003
- 26 **"Optimized metrology for laser damage measurement - Application to multiparameter study"**, Gallais L., Natoli J.-Y., Applied optics **42** 960 2003

- 27 **"Localized pulsed laser interaction with sub-micronic gold particles embedded in silica : a method for investigating laser damage initiation"**, Natoli J.-Y., Gallais L., Bertussi B., During A., Commandre M., Rullier J.-L., Bonneau F., Combis P., Optics Express **11** 824 2003
- 28 **"Study of UV laser interaction with gold nanoparticles embedded in silica"**, Bonneau F., Combis P., Rullier J.-L., Vienne J., Pellin M., Savina M., Broyer M., Cottencin E., Tuaillon J., Pellarin M., Gallais L., Natoli J.-Y., Perra M., Bercegol H., Lamaignère L., Loiseau M., Donohue J.T., Applied Physics B **75** 803 2002
- 29 **"Overcoated microspheres for specific optical powders"**, Deumie C., Voarino P., Amra C., Applied optics **41** 3299 2002
- 30 **"Angle-resolved ellipsometry of light scattering: discrimination of surface and bulk effects in substrates and optical coatings"**, Deumie C., Giovannini H., Amra C., Applied optics **41** 3362 2002
- 31 **"Multi-wavelength imaging of defects in UV optical materials"**, During A., Fossati C., Commandre M., Applied optics **41** 3118 2002
- 32 **"Statistical study of single and multiple pulse laser-induced damage in glasses"**, Gallais L., Natoli J.-Y., Amra C., Optics Express **10** 1465 2002
- 33 **"Multiscale mapping technique for the simultaneous estimation of absorption and partial scattering of optical coatings"**, Gatto A., Commandre M., Applied optics **41** 225 2002
- 34 **"Laser induced damage of materials in bulk, thin films and liquid forms"**, Natoli J.-Y., Gallais L., Akhouayri H., Amra C., Applied optics **41** 3156 2002

IV.7.2. Conférences invitées

- 35 **"Light scattering in Optical Characterization"**, Amra C., Deumie C., International Workshop on Optical Thin Film Coatings 2006
- 36 **"Optical characterization in laser damage studies"**, Commandre M., Natoli J.-Y., Gallais L., Wagner F., Amra C., Laser Induced Damage Symposium 2006
- 37 **"Aspects multi-échelle en optique"**, Amra C., Deumie C., Workshop organisé par l'EGIM sur la physique multi-échelle et interdisciplinaire 2005
- 38 **"Optical Refractive Index"**, Amra C., JEELS 2004
- 39 **"Light scattering: review and progress"**, Amra C., Deumie C., Optical Interference Coatings 2004
- 40 **"Light scattering from optical surfaces and mirrors"**, Amra C., Deumie C., Laser-Induced Damage in Optical Materials 2004
- 41 **"Light scattering, photothermal microscopy and laser damage in optical multilayers"**, Amra C., Commandre M., Deumie C., Natoli J.-Y., SVC meeting 2004
- 42 **"Light scattering in optical multilayers, review and progress"**, Amra C., Deumie C., Optical Interference coatings 2004
- 43 **"Light scattering of the scattered field for the analysis of microelectronics patterns"**, Deumie C., Gilbert O., Amra C., Workshop Scatterometry 2004
- 44 **"Thin Films"**, Amra C., Symposium "Surfaces", Académie des sciences 2003
- 45 **"Optical Characterization Techniques"**, Amra C., Symposium on Functional Coatings and Surface Engineering, FCSE 2003

- 46 **"Sondage optique en champ lointain par diffusion lumineuse : rugosités de surface et hétérogénéités de volume"**, Amra C., Deumie C., Lequime M., Atelier lumière parasite, CNES 2003
- 47 **"Light scattering: surfaces and bulks, multilayers, interferential powders"**, Amra C., Deumie C., Symposium "Surfaces", Académie des sciences Symposium "Surfaces", 2003
- 48 **"Optical characterisation techniques for interference coatings"**, Amra C., Commandre M., Natoli J.-Y., Deumie C., UNY-VAC Symposium on Functional Coatings and Surface Engineering 2003
- 49 **"Photothermal microscopy and laser damage in optical components"**, Commandre M., Natoli J.-Y., 7th European workshop on Advanced Topics in Optical Thin Films 2003
- 50 **"Photothermal microscopy and laser damage in optical components"**, Commandre M., Natoli J.-Y., Amra C., During A., Gallais L., Annual meeting of SPIE, Advanced Characterization Techniques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies 2003
- 51 **"Photothermal analysis of sub-micrometric scale defects in laser damage studies"**, Commandre M., Fossati C., Natoli J.-Y., Amra C., Proc. SPIE 5250, Optical Systems Design 2003
- 52 **"Indice de réfraction d'échantillons diffusants: application au cas de poudres colorées"**, Deumie C., Amra C., Destouches N., GDR « Couleur et matériaux à effets visuels », Atelier "Production des couleurs et visualisation" 2003
- 53 **"Méthodes vectorielles et applications à la couleur"**, Deumie C., Voarino P., Amra C., Lequime M., Abel L., GDR "Couleur et matériaux à effets visuels", Atelier "caractérisation et modélisation de la couleur et des effets visuels" 2003
- 54 **"Diffusion de la lumière : surfaces et volumes, poudres interférentielles"**, Deumie C., Lequime M., Amra C., Ecole thématique interdisciplinaire sur la couleur des matériaux: le métal 2003
- 55 **"Optical characterizations techniques"**, Lequime M., Amra C., Deumié C., Commandré M., Natoli J.-Y., Design and technologies of coatings 2003
- 56 **"Diffusion de la Lumière"**, Amra C., Journées de la Société Française de Physique 2002
- 57 **"Light scattering: a powerful non destructive probe"**, Amra C., Deumie C., International Meeting of Brazilian Physical Society 2002

IV.7.3. Communications avec actes

- 58 **"Luminescence, absorption and morphology studies of laser-damage sites in silica glasses and coatings"**, Gallais L., Capoulade J., Krol H., Wagner F., Natoli J.-Y., Commandre M., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 113 2006
- 59 **"Development of 2 μ m laser damage test facility"**, Krol H., Gallais L., Natoli J.-Y., Commandre M., Grezes-Besset C., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 2006
- 60 **"Light scattering from optical substrates and multilayers"**, Amra C., Deumie C., Proc. SPIE Vol. 5647, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2004 72 2005
- 61 **"3D photothermal microscope for the detection of nano-sized absorbing defects responsible for laser-induced damage initiation"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Proc. SPIE Vol. 5647, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2004 394 2005
- 62 **"Subpicosecond Z-scan measurements of the nonlinear refractive index of dense materials"**, Billard F., Commandre M., Amra C., Natoli J.-Y., Akhouayri H., Proc. SPIE Vol. 5647, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2004 403 2005

- 63 "Complete characterization of damage threshold in titanium doped sapphire crystals with nanosecond, picosecond, and femtosecond laser pulses"**, Canova F., Chambaret J.P., Mourou G., Sentis M., Uteza O., Delaporte P., Itina T., Natoli J.-Y., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 639 2005
- 64 "Interface creation to build a powerful photolithography simulation platform"**, Costes M.-S., Braun G., Cuinet X., Fossati C., Liotard J.-L., Commandre M., Proc. SPIE vol.5992, 25th Annual BACUS Symposium on Photomask Technology p. 1614-1623 2005
- 65 "Ellipsometry of scattering patterns from optical inhomogeneities"**, Deumie C., Georges G., Gilbert O., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5965, Optical Fabrication, Testing, and Metrology II 433 2005
- 66 "Microlens design for CMOS image sensor"**, Fossati C., Gagliano O., Commandre M., Dunne B., Proc. SPIE vol. 5962, Optical Design and Engineering II p. 696-703 2005
- 67 "Comparative study of IR and UV laser damage resistance of silica thin films deposited by electron beam deposition, ion plating, ion assisted deposition and dual ion beam sputtering"**, Gallais L., Krol H., Capoulade J., Cathelinaud M., Roussel L., Albrand G., Natoli J.-Y., Commandre M., Lequime M., Amra C., Proc. SPIE vol. 5963, Advances in Optical Thin Films II p. 287-293 2005
- 68 "Threshold distribution determination of laser-induced damage precursors in optical coatings and substrates"**, Krol H., Gallais L., Bertussi B., Natoli J.-Y., Grezes-Besset C., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5647, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2004 373 2005
- 69 "LIDT improvement of multilayer coatings by accurate analysis of fabrication steps"**, Krol H., Gallais L., Commandre M., Grezes-Besset C., Torricini D., Lagier G., Proc. SPIE vol. 5963, Advances in Optical Thin Films II 294 2005
- 70 "Need to define a functional LIDT in multiple irradiation cases: examples of silica and KDP at 1064 nm and 355 nm"**, Natoli J.-Y., Capoulade J., Bertussi B., Commandre M., Piombini H., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 103 2005
- 71 "Study of laser interaction with aluminum contaminant on fused silica"**, Palmier S., Tovenat I., Lemaître L., Rullier J.-L., Capoulade J., Bertussi B., Natoli J.-Y., Servant L., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 259 2005
- 72 "Influence of the cut angle on the laser damage threshold of KDP"**, Piombini H., Pommies M., Damiani D., Mathis H., Lemaître L., Donval T., Loiseau M., Capoulade J., Bertussi B., Natoli J.-Y., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 581 2005
- 73 "Highlighting of local inhomogeneity in excimer conditioning of KDP"**, Piombini H., Damiani D., Damamme G., Natoli J.-Y., Bertussi B., Commandre M., Proc. SPIE Vol. 5647, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2004 279 2005
- 74 "Nondestructive optical characterization of KH₂PO₄ crystals heterogeneities and adapted excimer laser conditioning process"**, Pommies M., Damiani D., Bertussi B., Capoulade J., Natoli J.-Y., Piombini H., Mathis H., Optical Fabrication, Testing, and Metrology II 509 2005
- 75 "Detection and characterization of lower LIDT regions in KDP material"**, Pommies M., Damiani D., Piombini H., Bertussi B., Capoulade J., Natoli J.-Y., Mathis H., Proc. SPIE Vol. 5991, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2005 561 2005
- 76 "Study of surface contamination layer in silica thanks to laser damage investigation"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 231 2004

- 77 "Photothermal microscopy for in-situ study of laser interaction with 100-nm-diameter gold nanoparticles embedded in silica thin films"**, Bertussi B., Commandre M., Natoli J.-Y., Bonneau F., Combis P., Rullier J.-L., Bouchut P., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 359 2004
- 78 "Correlation between laser-induced-damage and nanosized absorbing defects"**, Bertussi B., Natoli J.-Y., During A., Commandre M., Gallais L., Rullier J.-L., Bercegol H., Bouchut P., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 575 2004
- 79 "Study and experimental setting of the Z-scan method for accurate nonlinear refractive index and absorption metrology"**, Billard F., Olivier T., Akhouayri H., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 334 2004
- 80 "Photothermal microscopy for the study of laser damage initiation by measurement of absorption modification of silica seeded with gold nanoparticles"**, During A., Bertussi B., Commandre M., Natoli J.-Y., Bonneau F., Combis P., Rullier J.-L., Cottancin E., Pellarin M., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 366 2004
- 81 "Method for the optical measurement of size and complex index of laser damage precursors in optical components"**, Gallais L., Voarino P., Natoli J.-Y., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 188 2004
- 82 "Photothermal facility for optical characterization of DUV materials"**, Gallais L., Hinsch H., Lay M.-L., Commandre M., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 597 2004
- 83 "Size and complex index of nanocenters: optical measurements"**, Gallais L., Voarino P., Natoli J.-Y., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 350 2004
- 84 "Colorimetric properties of the light scattered by various objects"**, Lequime M., Abel L., Deumie C., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 271 2004
- 85 "Multiple pulses laser irradiation study in silica"**, Natoli J.-Y., Bertussi B., Gallais L., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 182 2004
- 86 "Z-scan theoretical and experimental studies for accurate measurements of nonlinear refractive index and absorption of optical glasses near damage threshold"**, Olivier T., Billard F., Akhouayri H., Proc. SPIE Vol. 5273, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2003 349 2004
- 87 "Z-scan studies of the nonlinear refractive index of fused silica in the nanosecond regime"**, Olivier T., Billard F., Akhouayri H., Proc. SPIE Vol. 5252, Optical Fabrication, Testing, and Metrology 391 2004
- 88 "Interferential powders for the spectral control of light scattering"**, Voarino P., Deumie C., Amra C., Proc. SPIE Vol. 5250, Advances in Optical Thin Films 37 2004
- 89 "Comparison of numerical simulations with experiment on generation of craters in silica by a laser"**, Bercegol H., Bonneau F., Bouchut P., Combis P., Gallais L., Lamaignère L., Natoli J.-Y., Rullier J.-L., Vienne J., Proc. SPIE Vol. 4932, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2002 and 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization 297 2003
- 90 "Using a TOF mass spectrometer for studies of laser interaction with 3-nm diameter gold nanoparticles embedded in silica"**, Bercegol H., Bonneau F., Combis P., Gallais L., Lamaignère L., Loiseau M., Natoli J.-Y., Pellin M., Perra M., Rullier J.-L., Savina M., Proc. SPIE Vol. 4932, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2002 and 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization 334 2003

91 "Photothermal microscopy and laser damage in optical components", Commandre M., Natoli J.-Y., Amra C., During A., Gallais L., Proc. SPIE Vol. 5188, Advanced Characterization Techniques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies 169 2003

92 "Calculated and thermally measured laser damage in metallic thin films as a function of pulse duration", Gallais L., Amra C., Natoli J.-Y., Proc. SPIE Vol. 4932, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2002 and 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization 16 2003

93 "Toward an absolute measurement of LIDT", Natoli J.-Y., Gallais L., Bertussi B., Commandre M., Amra C., Proc. SPIE Vol. 4932, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2002 and 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization 224 2003

94 "Laser ablation of fused silica induced by gold nanoparticles: comparison of simulations and experiments at 351 nm", Bercegol H., Bonneau F., Bouchut P., Combis P., Donohue J.T., Gallais L., Lamoignon L., Le Diraison C., Loiseau M., Natoli J.-Y., Pelle C., Perra M., Rullier J.-L., Vienne J., Ward H., Proc. SPIE Vol. 4760, High-Power Laser Ablation IV 1055 2002

95 "Photothermal microscopy for in-situ study of laser damage induced by gold inclusion", During A., Commandre M., Fossati C., Natoli J.-Y., Rullier J.-L., Bercegol H., Bouchut P., Proc. SPIE Vol. 4932, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2002 and 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization 374 2002

IV.7.4. Communications sans actes

96 "Technique d'annulation de la lumière diffusée", Georges G., Deumie C., Amra C., Journées imagerie optique non conventionnelle 2006

97 "Détection non destructive de défauts absorbants dans les composants optiques : application à l'endommagement laser", Capoulade J., Bertussi B., Natoli J.-Y., Commandre M., Contrôle et Mesures Optiques pour l'Industrie 119 2005

98 "Sondage optique par ellipsométrie sur flux diffusé", Deumie C., Georges G., Arnaud L., Gilbert O., Amra C., Contrôles et Mesures Optiques pour l'Industrie 2005

99 "Etude et caractérisation de l'endommagement laser dans les composants optiques", Krol H., Gallais L., Natoli J.-Y., Commandre M., Grezes-Besset C., Conférence Mesure Optique pour l'Industrie 2005

100 "Spectroscopie de luminescence pour l'analyse de verres soumis à des flux lumineux intenses", Wagner F., Gallais L., Natoli J.-Y., Commandre M., Conférence Mesure Optique pour l'Industrie 2005

101 "Caractérisation par diffusion lumineuse des deux faces d'un échantillon transparent", Zerrad M., Deumie C., Lequime M., Amra C., CRIEC 2005

102 "Mesure sub-picoseconde de l'indice de réfraction non linéaire de milieux denses par la méthode de Z-scan", Billard F., Akhouayri H., FEMTO 2004

103 "Multidielectric quarter-wave coatings on microspheres", Deumie C., Voarino P., Amra C., Optical Interference Coating 2004

104 "Angular phase measurement of polarized scattering", Deumie C., Gilbert O., Amra C., Optical Interference Coating 2004

105 "Analyse ellipsométrique de la diffusion angulaire par les surfaces, volumes, composants multicouches", Deumie C., Gilbert O., Amra C., Journées imagerie polarimétrique 2004

- 106 **"Simultaneous Absorption/Scattering/Fluorescence mappings for the characterization of DUV components"**, Gallais L., Commandre M., Optical Interference Coatings 2004
- 107 **"Modélisation optique d'imageurs CMOS"**, Jaffard J.L., Fossati C., Gagliano O., Journée micro systèmes à cœur optique 2004
- 108 **"Light-scattering characterization of superpolished transparent substrates"**, Zerrad M., Deumie C., Lequime M., Amra C., Ewart M., Optical Interference Coatings 2004
- 109 **"Analyse photothermique à l'échelle millimétrique de matériaux métalliques–Influence de l'état de surface"**, Gagliano O., Serra J.J., Commandre M., Autrique L., Journées SFT 2003
- 110 **"Diffusion de la lumière par des substrats transparents: caractérisation d'états de surfaces"**, Zerrad M., Deumie C., Lequime M., Horizons de l'Optique 2003
- 111 **"Thermique photo-induite, endommagement laser et optique non linéaire dans les couches minces optiques"**, Akhouayri H., Fossati C., Natoli J.-Y., Amra C., Commandre M., During A., Gallais L., Journée Couches Minces Optiques 2002
- 112 **"Optimisation de la métrologie pour la mesure de l'endommagement laser"**, Gallais L., Bertussi B., Natoli J.-Y., Réunion du groupe de travail inter-département sur l'endommagement laser (GT-EL), CEA/CESTA 2002
- 113 **"Optimized metrology for laser damage measurement"**, Gallais L., Natoli J.-Y., Conference on Lasers and Electro-Optics 2002
- 114 **"Utilisation de faisceaux focalisés pour le tracé de courbes de seuils d'endommagement : un moyen de confirmer l'existence de centres précurseurs et d'en déterminer leur densité"**, Natoli J.-Y., Gallais L., Amra C., Réunion du groupe de travail inter-département sur l'endommagement laser (GT-EL), CEA-CESTA 2002
- 115 **"Detection of nano-defects in different glasses for bulk and surfaces using laser damage investigations"**, Natoli J.-Y., Gallais L., Amra C., Glass Odyssey 2002

IV.7.5. Chapitres d'ouvrages scientifiques

- 116 **"Diffusion de la lumière par les rugosités d'interface et les hétérogénéités de volume. Application à la caractérisation de microstructure dans les composants interférentiels"**, Amra C., Cristaux massifs et en couches minces pour l'optique Élaboration et caractérisation, EDP Sciences (Ed.) 203 2005
- 117 **"Thermique Photo-Induite, deflexion photothermique et Endommagement Laser dans les composants interférentiels"**, Amra C., Cristaux massifs et en couches minces pour l'optique Élaboration et caractérisation, EDP Sciences (Ed.) 227 2005

IV.7.6. Brevets

- 118 **"Filtre électromagnétique à 2 degrés de liberté et ses applications"**, Amra C., Chazalet F., Deumie C., 0507987, 2005
- 119 **"Imageur CMOS comprenant une matrice de microlentilles ayant un taux de remplissage élevé"**, Dunne B., Fossati C., Gagliano O., 05 12137, 2005

V - *ÉQUIPE PHYTI, RAPPORT SCIENTIFIQUE*

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
PHYTI	3,5	35	92

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	PHYTI %	Date d'arrivée dans l'équipe
ROUEFF Antoine	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-06
GALLAND Frédéric	CNRS	Chercheur	1	oct-05
BERTAUX Nicolas	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-00
ALLAIN Marc	U3	Ens-chercheur	1	sept-05
ROCHE Muriel	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-02
REFREGIER Philippe	EGIM	Ens-chercheur	1	oct-94
Total servant au calcul de la répartition des crédits			6	

PHYTI : Effectifs au 01/11/06

V.1. Déclaration succincte de politique scientifique

Notre politique scientifique est résumée dans le paragraphe suivant. L'activité se structure essentiellement autour de deux thèmes amont et un thème aval et cette politique sera poursuivie. En réalité, les deux thèmes amont ont un grand recouvrement entre eux et, vu la faible taille de l'équipe, nous ne souhaitons pas développer des thèmes de recherche disjoints. Nous résumons sous la forme d'un tableau l'organisation prévue pour le quadriennal à venir.

Permanents :	Traitements statistiques d'images	Optique statistique	Imagerie Optronique et radar
M. Alain	50 %		50 %
N. Bertaux	50 %		50 %
F. Galland	50 %		50 %
Ph. Réfrégier	33 %	33 %	33 %
M. Roche		50 %	50 %
Nouveau MCF		50 %	50 %

V.2. Thèmes de recherche et résultats marquants

V.2.1. Résumé des activités de 2002 au 01/06/ 2006

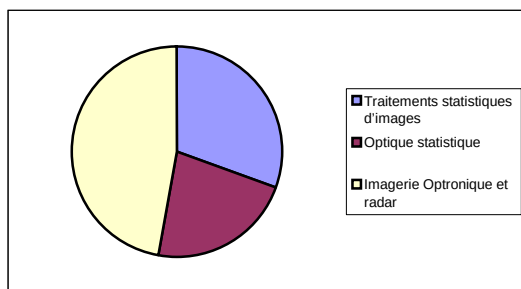
La répartition des personnels permanents et des doctorants en fonction des différents thèmes lors du plan quadriennal est résumée sur les tableaux qui suivent.

Permanents :	Traitements statistiques d'images	Optique statistique	Imagerie Optronique et radar
N. Bertaux	50 %		50 %
Ph. Réfrégier	33 %	33 %	33 %
M. Roche		50 %	50 %
F. Goudail / A. Roueff		50 %	50 %

Doctorants :	Traitements statistiques d'images	Optique statistique	Imagerie Optronique et radar
N. Roux		50 %	50 %
P. Martin	50 %		50 %
F. Galland	50 %		50 %
G. Delyon	50 %		50 %
J. Morio	20 %	20 %	60 %
G. Pons	20 %		80 %
E. Magraner	50 %		50 %

Nous résumons l'effort porté sur nos thèmes de recherche en personnels permanents auxquels on a ajouté les doctorants. Le déséquilibre entre les deux thèmes amonts est lié au caractère plus théorique et donc plus risqué pour les thèses en ce qui concerne l'optique statistique. En effet, le placement des doctorants peut

alors être plus délicat. On remarque aussi que l'objectif applicatif reste un aspect qui nécessite le plus d'effort car c'est ce thème qui donne lieu aux contrats industriels. Cependant le bilan sur les publications montre une répartition des résultats académiques.



Effort humain sur les thématiques

Remarque préliminaire :

Les exemples présentés, et en particulier les figures, ne sont pas exhaustifs mais ont été choisis afin d'illustrer les problématiques abordées.

V.2.2. Techniques statistiques de traitement d'images

Comme nous l'avions prévu, nos travaux sur les algorithmes de partition en zones homogènes et de segmentation ont été poursuivis. Afin de diminuer le niveau de supervision nécessaire, nous avons continué à développer une approche issue de la théorie de l'information et qui repose sur le principe de la minimisation de la complexité stochastique. On a ainsi pu obtenir des algorithmes sans paramètre empirique à ajuster, contrairement aux techniques classiques de régularisation. C'est un aspect qui nous motive car la présence de paramètres à ajuster peut être une limite importante pour de nombreuses applications industrielles et en particulier pour les systèmes embarqués. Pour étendre le champ d'application de ces techniques, nous avons considéré essentiellement deux directions.

Nous avons montré que le modèle de contour par courbe de niveau, qui est très utilisé dans le domaine du traitement d'images, pouvait également être abordé avec la théorie de la minimisation de la complexité stochastique. Cela a permis de proposer le premier modèle de contour actif par courbe de niveau qui repose sur la minimisation d'un critère sans paramètre à ajuster. Nous avons également montré qu'en présence d'images fortement bruitées il est nécessaire de prendre en compte la nature des fluctuations dans le critère à optimiser, contrairement à ce qui est réalisé en général dans la communauté.

Les algorithmes précédents relèvent de la classe des techniques statistiques paramétriques (famille des densités de probabilité connue bien que les paramètres de ces lois ne le soient pas) et ne contiennent aucun paramètre à ajuster (estimation des paramètres statistiques tel que l'ordre du speckle et les valeurs moyennes, estimation automatique du nombre de régions et de la complexité de la grille, ce qui dispense d'introduire d'autres termes de régularisation). La connaissance de la famille des densités de probabilité des fluctuations présentes dans l'image peut être, dans certaines situations, une limite pour la mise en œuvre efficace de ces techniques. Nous avons proposé et développé une approche originale qui réalise une estimation de la densité de probabilité lors de la partition de l'image. Cette technique repose toujours sur la minimisation de la complexité stochastique. Elle permet ainsi la mise en œuvre de cette approche non paramétrique en

conservant des algorithmes sans paramètre à ajuster. Nous présentons sur la figure 1 un exemple de résultat obtenu sur une image optique standard.

Nous avons démontré que cette technique est pratiquement aussi efficace que les techniques paramétriques et qu'elle peut s'adapter à de nombreuses sources de fluctuations. Cette approche a pu être appliquée à l'ensemble des modèles de partition en zones homogènes de l'équipe (contour polygonal, courbes de niveau, grille polygonale – voir figure 2).

Nous montrons sur les figures 3 et 4 des exemples d'application de la grille polygonale sans connaissance de la famille des densités de probabilité des fluctuations sur une image couleur et sur une image radar.



Figure 1 : Segmentation d'une image couleur à l'aide d'une technique par courbe de niveau. (a) Image couleur – (b) Afin de s'affranchir des problèmes d'ombres, il est classique de considérer uniquement la composante de teinte de l'image couleur. – (c) Segmentation obtenue sur l'image de teinte (b) en modélisant les fluctuations des niveaux de gris par des gaussiennes. La teinte étant une grandeur périodique, nous constatons qu'une modélisation gaussienne des fluctuations ne permet pas d'obtenir un résultat satisfaisant. – (d) Segmentation obtenue sur l'image de teinte (b), mais en utilisant cette fois-ci une modélisation non paramétrique des fluctuations des niveaux de gris.

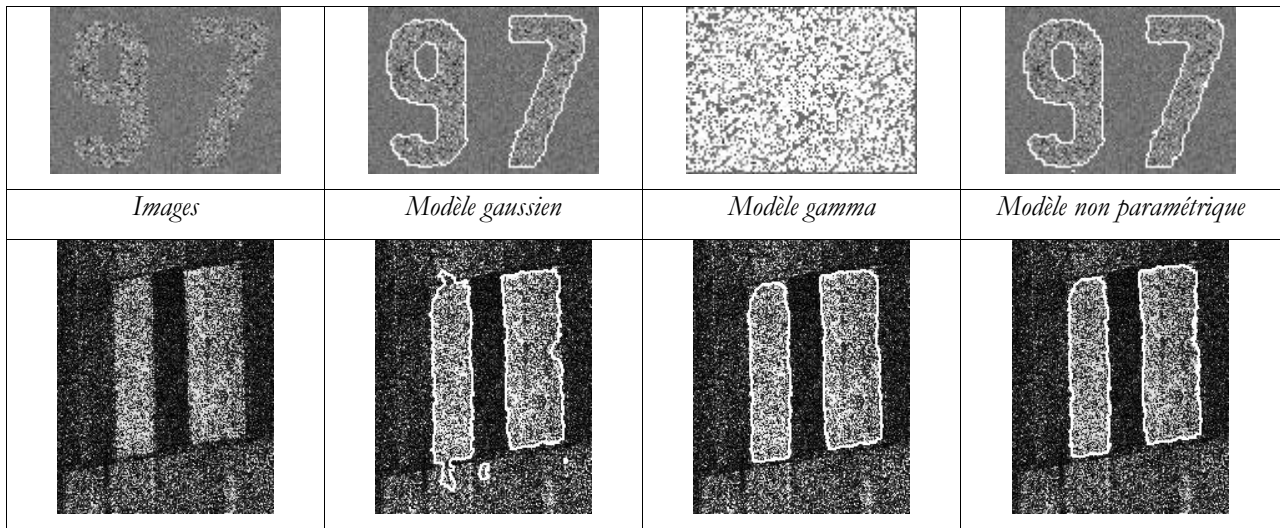


Figure 2 : Segmentation d'images par courbes de niveaux. Ligne 1 : image synthétique perturbée par un bruit gaussien. Ligne 2 : image radar réelle d'une zone agricole (image fournie par l'ESA et distribuée par le CNES). Deuxième colonne : résultats de segmentation obtenus en utilisant une modélisation gaussienne des fluctuations des niveaux de gris. Troisième colonne : résultats obtenus avec une modélisation par des lois gamma. Quatrième colonne : bons résultats (équivalents à ceux obtenus avec une modélisation adaptée), et ceci quel que soit le type de bruit présent dans l'image.

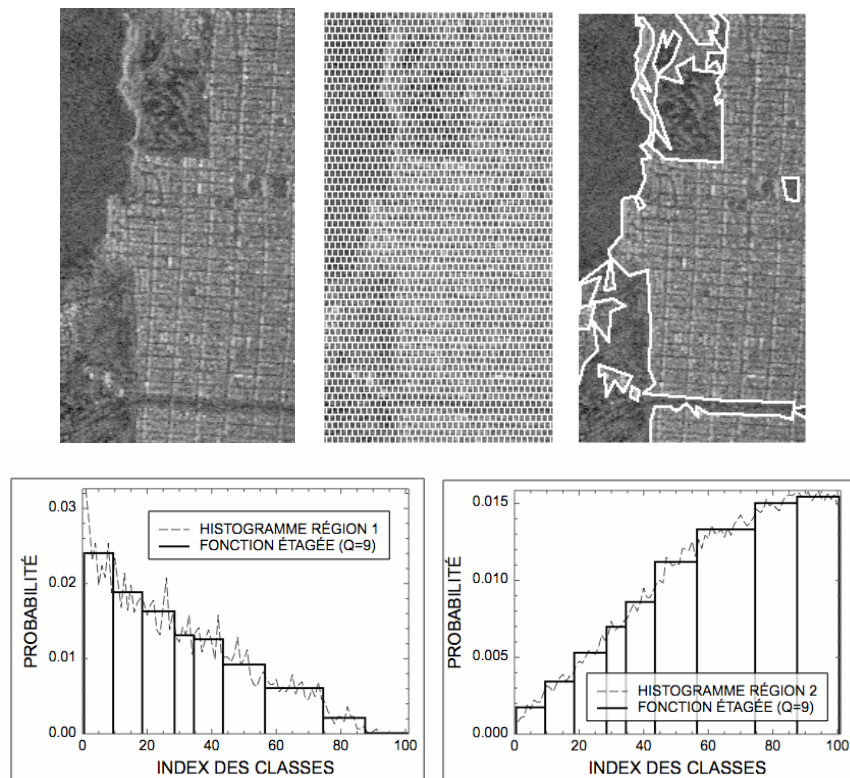


Figure 3 : Partition d'une image d'intensité moyenne extraite d'une image SAR-polarimétrique (fournie par le système NASA/JPL-Caltech AIRSAR) obtenue avec la grille active statistique et avec une modélisation non paramétrique des fluctuations des niveaux de gris. De haut en bas et de gauche à droite : image de taille 301×201 pixels, grille initiale, partition obtenue, histogrammes et fonctions étagées associées obtenues sur deux régions de l'image. Q est le nombre d'étages estimés pour la densité de probabilité.

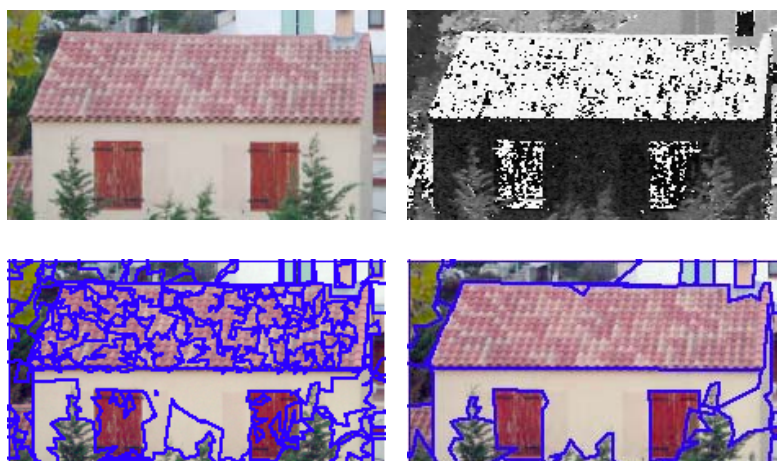


Figure 4 : Partitions de la composante teinte d'une image couleur obtenues avec la grille active statistique. De haut en bas et de gauche à droite : image couleur, composante teinte, résultat obtenu avec la technique adapté au bruit gaussien, résultat obtenu avec une modélisation non paramétrique des fluctuations des niveaux de gris.

Un travail important a également été réalisé pour caractériser les algorithmes que nous développons. Nous avons montré que la distance de Bhattacharyya est une mesure bien mieux adaptée que le rapport signal sur bruit standard. Ces études ont été généralisées aux signaux vectoriels et polarimétriques et aux algorithmes de segmentation. Nous continuons nos études sur ce sujet car il soulève des questions à la fois importantes sur le plan académique et appliqué. En effet, dans les situations statistiques originales où le bruit n'est plus simplement additif ou multiplicatif, la notion de rapport signal sur bruit est souvent absente, ce qui complique l'analyse des systèmes. C'est cependant un point nécessaire pour la réalisation d'algorithmes capables d'auto-évaluer la difficulté de la tâche en fonction de l'image à traiter, ce qui est une caractéristique importante pour les systèmes embarqués qui demandent un haut niveau d'autonomie.

Nous avons également débuté une collaboration avec Thales TAS pour la détection de signaux ponctuels dans des images temps-fréquence. L'objectif consiste à analyser l'apport d'une partition homogène sur les performances de détection à taux de fausse alarme constant.

V.2.3. Optique statistique

Le cas le plus général pour représenter les propriétés de polarisation de la lumière qui possède des fluctuations gaussiennes correspond au vecteur de Stokes à quatre dimensions (isomorphe aux matrices de cohérence). Ce formalisme pose de nombreuses questions comme la définition de la notion de contraste entre deux régions. L'étude du groupe d'invariance des propriétés statistiques nous a permis d'apporter des solutions originales à ce problème. Nous avons étendu nos travaux aux cas de variations de la polarisation en dimension 3. C'est une situation que l'on rencontre avec les images radars polarimétriques. C'est aussi un sujet d'intérêt pour la communauté optique dans le cas d'ondes « fortement non planes », ce qui correspond à la situation en champ proche. Nous avons également conduit des études sur les décompositions des matrices de Mueller en éléments plus simples (décomposition polaire). Ces travaux sur l'exploration des propriétés du formalisme Mueller-Stokes continueront certainement en relation avec les thèmes que nous allons présenter.

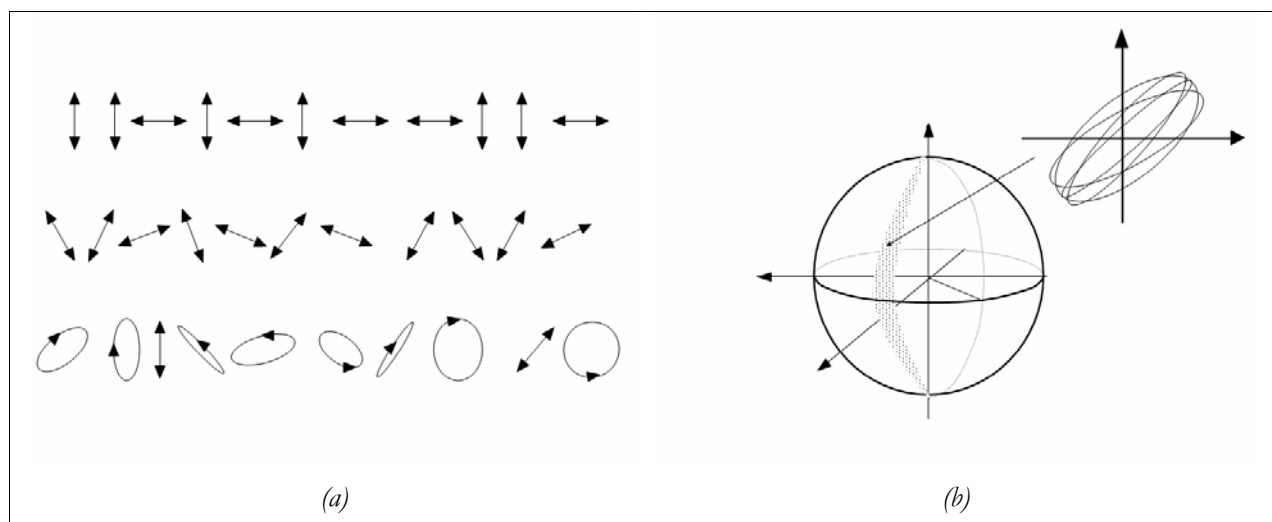


Figure 5 : Illustration de la problématique des travaux sur la caractérisation des fluctuations non gaussiennes de la polarisation. Chaque ligne de (a) représente des situations de polarisations désordonnées (on peut supposer un désordre spatial comme lors d'une expérience de diffusion). Dans chaque cas le degré de polarisation peut être nul bien que les situations physiques soient très différentes. Il a été montré récemment (Ellis et Dogariu JOSA A N. 6 , 2004 et JOSA A N. 3, 2005) que la diffusion de la lumière sur certaines poudres pouvait en effet conduire à des statistiques qui sont inhomogènes sur la sphère de Poincaré - analogue à ce qui est représenté en (b). Les mesures de non gaussianité et d'anisotropie que nous avons proposées permettent de différencier ces différents cas tout en étant fondées sur des considérations rigoureuses issues de l'entropie relative de Kullback (Voir Réfregier Opt. Lett., pp. 1090-1092, 2005 et Ph. Réfregier, F. Goudail JOSA A, pp. 671-678 2006).

Nous avons conduit une étude théorique pour l'analyse de la notion de degré de polarisation dans les situations où les fluctuations sont non gaussiennes. Nous nous sommes appuyés sur la théorie de l'information. Nous avons analysé les propriétés de l'entropie de Shannon qui a été peu utilisée dans ce domaine. En effet, par analogie de la matrice de polarisation (aussi appelée matrice de cohérence) avec la matrice densité de la mécanique quantique, une autre entropie avait été utilisée (entropie de Von Neumann). L'approche de Shannon possède un sens probabiliste plus solide et conduit à des résultats plus simples pour la description des propriétés non quantiques de polarisation partielle de la lumière. Nous avons montré que l'entropie relative de Kullback permet de définir un formalisme général rigoureux. Cette mesure, largement utilisée en théorie de l'information, en physique statistique (elle correspond à l'énergie libre) et en optique quantique pour la mesure du degré d'intrication des états n'avait pas, à notre connaissance, été étudiée précisément dans le cas de la théorie de la polarisation. Nous avons montré qu'elle permet de généraliser la notion de degré de polarisation pour différentes situations : quand le champ électrique varie en dimension 3, dans le cas non gaussien ou dans le cas de mesure de nouvelles propriétés polarimétriques telles que l'anisotropie (voir figure 5).

Plus récemment nous nous sommes intéressés à l'analyse de la cohérence partielle des ondes partiellement polarisées. En particulier, les travaux d'E. Wolf de 2003, ont souligné l'absence d'une théorie unifiée avec une définition du degré de cohérence pour la lumière partiellement polarisée qui soit unanimement acceptée. La solution qu'il a proposée ne présente pas de propriétés d'invariance et J. Tervo, A. Friberg *et al.* ont alors développé une nouvelle définition invariante par des transformations unitaires. Cependant leur définition du degré de cohérence apparaît peu reliée aux conditions expérimentales. En revanche, la solution de J. Tervo *et al.* est en accord avec l'approche de R. Glauber de 1963 alors que celle de E. Wolf est en contradiction avec celle-ci. Nos outils statistiques (théorie statistique de l'invariance et mesure

de Kullback) nous ont permis de proposer une théorie de la cohérence partielle qui sépare clairement les propriétés de cohérence de celles de polarisation partielle. Nous avons également établi les liens avec les théories existantes. En particulier nous avons montré que la définition qui repose sur les principes statistiques précédents (invariance et théorie de l'information) correspond à la valeur maximale du degré de Wolf quand les états de polarisation sont optimisés. Un lien avec la théorie de Glauber a aussi été mis en évidence.

V.2.4. Applications aux images optroniques et radar

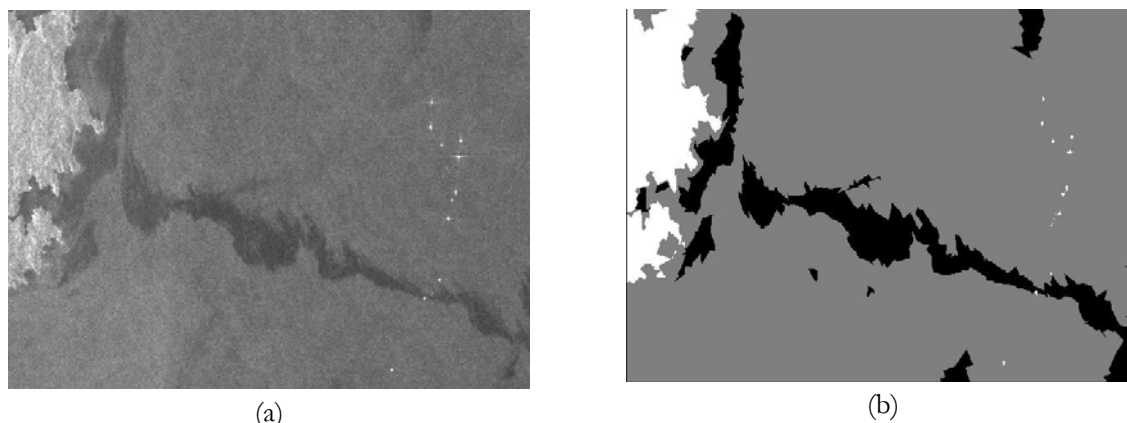


Figure 6 : Segmentation de nappes de pétrole sur une image radar. (a) Image radar d'une nappe de pétrole causée par le naufrage du Prestige au large des côtes espagnoles (image fournie par l'ESA). (b) Résultat de la segmentation automatique de l'image en 3 classes à l'aide d'une grille active polygonale (noire= pétrole, gris = mer, blanc = côte + bateaux).

L'étude des applications de la grille active aux images radar a été amplifiée. Dans le cadre d'une collaboration avec la société Thales TCA nous cherchons à montrer l'intérêt de la partition en zones homogènes fournies par la grille active pour réaliser une analyse d'image en termes structuraux. Nous avons également travaillé en collaboration avec la société Starlab de Barcelone pour évaluer l'algorithme de partition en zones homogènes par grille active pour la segmentation de nappes de pétrole. Nous avons évalué cette méthode sur des images radar acquises suite au naufrage du Prestige près des côtes espagnoles à partir d'images radar (SAR) (voir figure 6).

Nos algorithmes de partition en zones homogènes sans paramètre à ajuster, et qui permettent de traiter des images dont les régions ne sont pas simplement connexes, ont été généralisés au cas des signaux multicomposantes. Cela permet non seulement de traiter des images couleurs ou multitudes, mais également des images radars polarimétriques et interférométriques (POLINSAR). Une collaboration a été mise en place sur ce dernier sujet avec l'ONERA. Les temps de calculs restent inférieurs à la minute sur des images à 6 composantes de taille 256x256 pixels. Le point le plus intéressant reste néanmoins le très faible niveau de supervision de cette technique de partition en zones homogènes. Nous présentons sur la figure 7 un exemple de résultat obtenu sur une image POLINSAR. L'application de certains concepts développés dans le cadre de nos études sur l'analyse de la cohérence partielle des ondes partiellement polarisées ainsi que sur la définition de contraste en présence de bruit non additif nous ont permis de définir des indicateurs sur la nature physique du contraste dans les images. On peut ainsi déterminer rigoureusement s'il est plutôt de nature polarimétrique ou interférométrique.

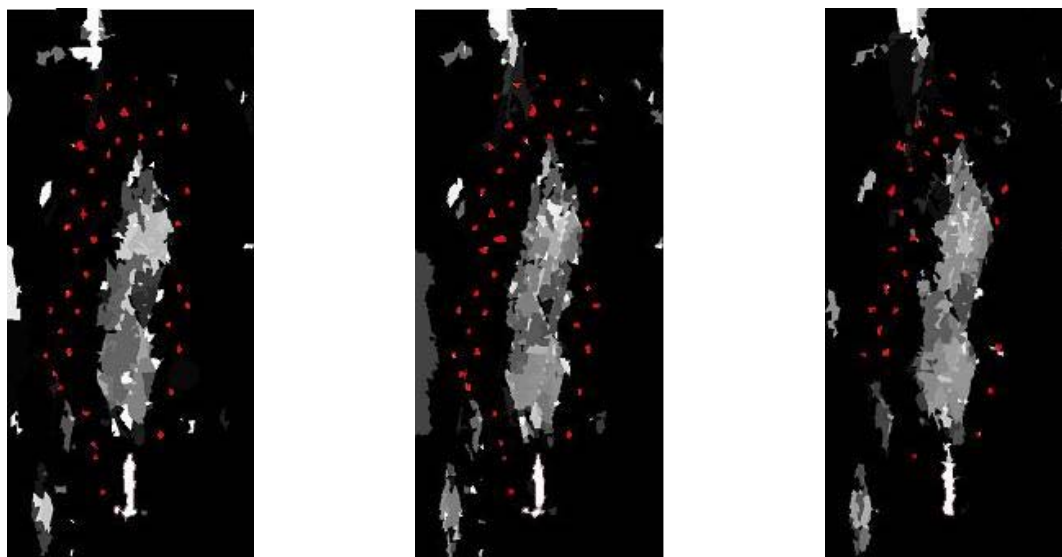


Figure 7 : Partitions en zones homogènes d'une zone de centre commercial en utilisant des données interférométriques (INSAR HH), polarimétriques (POLSAR) et polarimétriques et interférométriques (POLINSAR). Nous avons représenté en rouge les lampadaires détectés par la grille dans les 3 jeux de données. Les lampadaires qui ont une forte différence de phase interférométrique avec le sol, ne sont pas tous détectés dans l'image POLSAR contrairement aux résultats obtenus sur l'image POLINSAR et INSAR.

Nous avons amplifié nos études sur la caractérisation et le traitement d'images issues de nouveaux systèmes d'imagerie optronique active polarimétrique. Ces travaux nous ont non seulement conduit à développer des algorithmes spécifiques de détection et de segmentation, mais également à mieux analyser leur propriété d'optimalité. Nous avons montré qu'en imagerie active la représentation du degré de polarisation de la lumière n'est pas la mieux adaptée pour les tâches de traitement telles que la segmentation, la détection ou la localisation de cible par exemple. En effet, les propriétés d'invariance statistique démontrent qu'une autre représentation est mieux adaptée (la tangente hyperbolique inverse du degré de polarisation) car elle correspond à la représentation du groupe d'invariance sous la forme d'un simple groupe additif. Nous avons approfondi nos analyses en déterminant les bornes ultimes d'estimation (bornes de Cramer-Rao) pour différentes configurations expérimentales possibles.

Dans le cadre d'une Equipe Projet Multi Laboratoires (EPML) no. 8 STIC / RTP 26: « Imagerie de polarisation : des composants aux traitements » (2002-2004), nous avons travaillé sur la caractérisation des propriétés polarimétriques des modulateurs spatiaux de lumière pour la réalisation de systèmes d'imagerie polarimétrique sans mouvement mécanique. Cette structure regroupait quatre équipes universitaires : FOTI (Laboratoire MIPS, EA 2332, Mulhouse), MPV (Laboratoire I3D, FRE 2497, Lille), TRIO (LSIIT, UMR 7005, Strasbourg) et notre équipe. Elle avait été précédée d'un travail conduit par notre équipe avec celle de Lille sur la caractérisation des images polarimétriques passives (en lumière incohérente). Nos outils de partition en zones homogènes sans paramètre à ajuster ont permis d'améliorer les qualités d'estimation des propriétés polarimétriques décrites par les vecteurs de Stokes.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'équipe MOSAIC de l'Institut Fresnel, nous avons débuté une étude sur l'application des techniques statistiques de détection et de poursuite de particules dans les images issues de microscopes à fluorescence. Des échanges existent aussi avec d'autres équipes (MAPP sur la polarisation, SEMO sur la notion de résolution en imagerie optique). Enfin, nos thèmes de recherche sont définis en harmonie avec l'équipe GSM à la fois sur les aspects recherche et enseignement.

V.3. Perspectives

V.3.1. Techniques statistiques de traitement d'images

1. Nous souhaitons développer nos études et notre expertise théorique dans le domaine du traitement statistique des images. Nous chercherons à préserver notre originalité qui s'appuie sur l'étude d'images très bruitées avec des approches rigoureuses fondées sur la théorie de l'information tout en aboutissant à des solutions simples et rapides. Ces contraintes nous conduiront à favoriser l'analyse d'images où la complexité est plus liée aux fluctuations qu'à leur analyse sémantique. Nous chercherons à continuer à étendre leur domaine d'application en particulier pour les problèmes de détection en environnements bruités inhomogènes.
2. Nos travaux préliminaires dans le domaine de la caractérisation des images nous encouragent à explorer la possibilité qu'un algorithme auto-évalue ses performances lors du traitement d'une image. L'idée consiste à caractériser l'image traitée ainsi que les résultats obtenus afin de définir des indicateurs de confiance sur le traitement réalisé. Ce point se situe dans notre perspective de définir des composants algorithmiques adaptés aux systèmes embarqués (une collaboration a été mise en place en 2006 avec l'IFREMER sur ce thème).
3. Nous souhaitons également nous orienter vers les problèmes de poursuites dans des séquences d'images. C'est un thème sur lequel nous avons des collaborations autour de 1996-2000 et que nos nouveaux outils doivent permettre d'aborder avec une perspective de nouveaux résultats intéressants (absence de paramètre et auto-évaluation des performances). Ce thème est l'objet d'une collaboration avec la société Kaolab en 2006.

V.3.2. Optique statistique

1. Nous souhaitons poursuivre nos travaux dans les domaines de l'optique statistique. Nous approfondirons nos recherches sur les propriétés de la polarisation et de la cohérence car la situation internationale reste très active. Nous sommes persuadés que les théories proposées sont perfectibles et que la compréhension du problème n'est encore que partielle. Nous chercherons à accroître nos collaborations internationales sur ce thème.
2. Nous souhaitons également nous engager dans le domaine de la caractérisation des performances ultimes que l'on peut obtenir avec des états non classiques de la lumière (comme par exemple l'analyse des bornes de Kramer-Rao en présence d'états intriqués). Nous avons débuté en 2006 une collaboration avec le LKB (Paris VI) sur ce point.

V.3.3. Applications aux images optroniques et radar

1. L'ensemble des études précédentes devra être l'objet de validation sur les images optroniques et radar. Nous continuerons et amplifierons nos collaborations industrielles sur ces différents thèmes

(différentes unités optique et radar de Thales, ONERA, Trixell, Simag, Kaolab, etc.) car il s'agit d'un aspect important pour valider nos travaux et pour induire de nouveaux sujets de recherche.

2. Ces relations sont également essentielles pour bien préparer nos doctorants au milieu industriel et pour nous aider à mieux définir les axes de formation du parcours Ingénierie des Signaux et des Images de l'EGIM dont nous avons la responsabilité ainsi qu'à la formation de master recherche de l'UPCAM. C'est également une mission à laquelle nous souhaitons apporter un soin tout particulier.

V.3.4. Conclusion sur les perspectives

Comme nous venons de le mentionner nous continuerons à développer nos relations avec des partenaires industriels ou des grands organismes. Nos collaborations françaises universitaires vont certainement évoluer en accord avec nos thèmes en particulier dans le domaine de l'optique statistique et des applications aux images optiques non classiques (états quantiques de la lumière). Enfin, un effort particulier sera consacré au développement de nouvelles collaborations académiques internationales afin d'accroître le champ de nos travaux sur les aspects théoriques. La plus grande taille de notre équipe à partir de 2006 devrait nous aider dans ce sens.

Sur le plan strictement scientifique, pendant ces 4 dernières années, nous avons appuyé nos études essentiellement sur deux domaines : traitement statistique des images et optique statistique. Nous avons pour cela développé des méthodes utilisant des concepts qui reposent sur l'utilisation de techniques avancées de statistiques (groupe d'invariance, théorie de l'information et bornes de performances) et qui nécessitent une plus grande maîtrise de la nature discrète des images que celle que nous disposions jusqu'alors. Nous comptons continuer à accroître notre expertise dans ces domaines afin de développer de nouvelles techniques moins supervisées et plus performantes. Notre objectif est d'aboutir à des techniques de traitement et de caractérisation des images qui soient performantes et les moins supervisées possibles. Nous continuerons donc notre politique de publication dans les revues des communautés de l'optique d'une part, et du traitement des images d'autre part.

Nos priorités seront donc

- le placement des doctorants,
- les publications internationales,
- les collaborations industrielles.

V.4. Relations internationales et rayonnement

V.4.1. Contrat européen Eurofinder (Franco-Norvégien)

Un contrat européen de type Eurofinder, en coopération avec Thalès R&T et la société norvégienne Norsk Elektro Optikk AS a été mis en place et dont le titre est : « HYPOLAC : Hyperspectral Polarimetric Active and Passive Imaging ». Notre contribution : participation à la spécification du système, caractérisation des principales sources de bruit et analyse de leur influence, techniques de traitement des images polarimétriques et hyperspectrales.

V.4.2. Collaboration avec la société STARLAB de Barcelone

Nous avons établi une collaboration avec la société Starlab afin de valider nos algorithmes sur un problème de segmentation de nappes de pétrole. Les résultats obtenus ont abouti à une publication dans une revue internationale et nous espérons renforcer notre collaboration.

V.4.3. Collaborations universitaires

Nos relations avec le groupe optique de l'université de Valence et le Professeur B. Javidi ont été poursuivies. Nous nous sommes néanmoins limités à des relations sous forme de courtes visites avec séminaires invités (Pr. Ferreira de Valance, Pr. Figueredo de Lisbonne, P. Torok d'Imperial College) étant donné la faible taille de l'équipe (4) sur le dernier quadriennal. Notre politique sera d'accentuer ses relations sur le quadriennal qui vient puisque la taille atteinte le permettra (6).

V.4.4. Publications de monographies en langue anglaise : 2

- « **STATISTICAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES FOR NOISY IMAGES – AN APPLICATION ORIENTED APPROACH** » - Kluwer Academic / Plenum Publishers - New York - 2004 - ISBN 0-306-47865-X, François Goudail et Philippe Réfrégier
- « **NOISE THEORY AND APPLICATION TO PHYSICS – FROM FLUCTUATIONS TO INFORMATION** » Springer - New York - 2004 - ISBN 0-387-20154-8, Philippe Réfrégier

V.4.5. Organisation de Conférences depuis 01 - 01 – 2002 :

- **Présidence** du comité scientifique de la conférence « Physics in Signal and Image Processing 2003 » (Grenoble 2003) et président du steering committee pour Toulouse 2005 et Mulhouse 2007.
- **Membre** de plusieurs comités de programme de conférences internationales (Advance Imaging EOS, Workshop on Information Optics 06, SPIE meetings).

V.4.6. Activités auprès des Sociétés savantes internationales et des Revues Internationales

- **Présidence** de la Société Française d'Optique (2003-2005).
- **Rapporteurs** de revues internationales (IEEE : IEEE PAMI, IEEE Image Processing, OSA : Optics Letters, Optics Express, J.O.S.A. A , etc.).

V.5. Doctorants et thèses soutenues (2003-2006)

Thèses en cours :

Nom	Thèse débutée en	Financement
Guillaume Delyon	octobre 2003	MENESRIP
Gemma Pons	décembre 2004	CIFRE Thales
Jérôme Morio	novembre 2004	Région/ONERA
Eric Magraner	octobre 2005	DGA
Jean-François Boulanger	octobre 2006	Région/ONERA
Julien Fade	octobre 2006	AMN Ecole Normale

Titre des thèses en cours :

Guillaume Delyon : Caractérisations et applications de techniques statistiques non paramétriques et non supervisées de partitions d'images.

Gemma Pons : Analyse conjointe des propriétés géométriques et radiométriques des images SAR à l'aide des grilles déformables et extraction d'informations de haut niveau.

Jérôme Morio : Analyse des paramètres issus des images SAR polarimétriques et interférométriques après segmentation statistique.

Eric Magraner : Extraction d'informations dans les images bruitées à l'aide de surfaces maillées déterminées par minimisation de la complexité stochastique : Application à la segmentation active d'images pour RADAR aéroporté.

Jean-François Boulanger : Poursuite d'objet dans des séquences vidéo.

Julien Fade : Extraction et caractérisation de l'information dans les signaux polarimétriques ou issus d'états quantiques non classiques de la lumière.

Thèses soutenues :

Frédéric Galland - Financement : MENESRIP

Titre : Partition d'une image en zones homogènes par grille active statistique basée sur la minimisation de la complexité stochastique. **Soutenance** : décembre 2004

Situation actuelle : Chargé de recherche CNRS.

Pascal Martin - Financement : Région / Entreprise

Titre : Application du principe de minimisation de la complexité stochastique à la segmentation d'images bruitées par contour actif. **Soutenance** : février 2006

Situation actuelle : Cofondateur d'entreprise (Kaolab).

Nicolas Roux - Financement : DGA

Titre : Extraction d'information dans les images polarimétriques multispectrales actives et hyperspectrales passives. **Soutenance** : janvier 2006

Situation actuelle : Ingénieur SAFRAN depuis novembre 2006.

Cyrille Enderly - Financement : CIFRE Thales

Titre : Classification par filtrage de Volterra optimal pour la déflexion. Application à l'identification de données RADAR.. **Soutenance** : mai 2006

Situation actuelle : Ingénieur THALES depuis janvier 2006.

Guillaume Delyon - Financement : MENESRIP

Titre : Caractérisations et applications de techniques statistiques non paramétriques et non supervisées de partitions d'images. **Soutenance** : novembre 2006

Situation actuelle : Ingénieur THALES depuis décembre 2006.

Remarques :

- 4 doctorants ont rejoint l'industrie et un doctorant le CNRS.
- Pour les doctorants ayant rejoint une entreprise, ils ont trouvé leur emploi plusieurs mois avant leur soutenance. Le doctorant ayant rejoint le CNRS n'a pas eu de période sans salaire (post-doc).

V.6. Bilan financier (2003-2006)

Ressources annuelles de l'unité au cours du contrat antérieur

Remarque : Le bilan de l'année 2006 est celui au 31/06/06

Ressources du Ministère MENRT (TTC) :

Année	2003	2004	2005	2006
Montant (Euros) (fonctionnement)	3826.01	6033.43	6742.9	7609.71
Montant (Euros) (Equipement)	832.21	1925.98	0	BQR U3 = 6000

Ressources du CNRS (HT) :

Année	2003	2004	2005	2006
Montant (Euros) (fonctionnement)	2280.75	5243.35	5654.32	7333.06
Montant (Euros) (Equipement)				

Ressources issues de contrats d'études non MENRT (Euros HT) :

Année	2003	2004	2005	2006
Montant (Euros)	47 622	30 491	0	22869

Budget prévisionnel de l'unité pour le prochain contrat.

Budget en HT

Année	2008	2009	2010	2011
MENRT + CNRS	15 000	15 000	15 000	15 000
CONTRATS	30 000	30 000	30 000	30 000

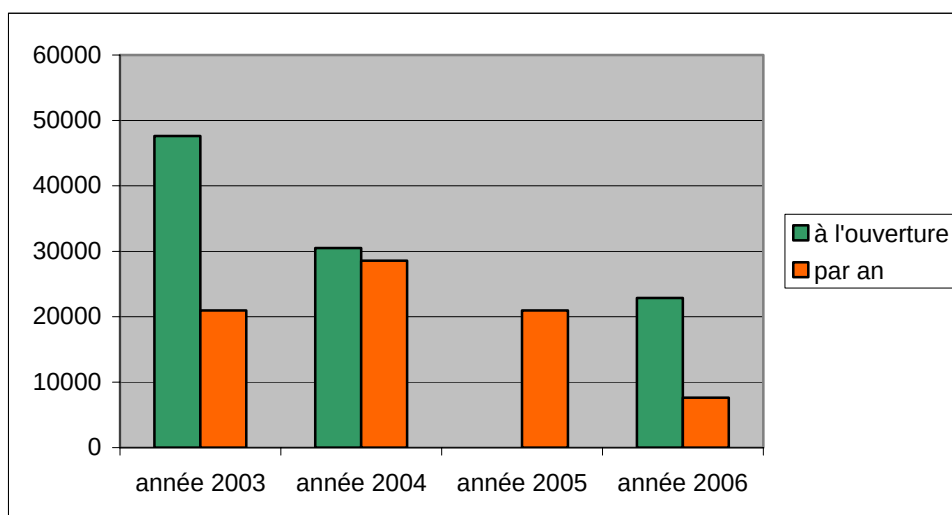
Liste des achats d'équipement souhaités ou programmés pour le prochain contrat

L'évolution, envisagée lors du dernier plan, qui consistait à mettre en place un réseau unique LINUX a été réalisée. Le plan d'investissement programmé est donc :

Année	2008	2009	2010	2011
Nature	Serveur LINUX	Station de travail	Station de travail	Station de travail
(Montant en HT)	40	40	40	40

Actions contractuelles :

Nous présentons sur la figure suivante les financements contractuels. En vert, on a représenté le montant total du contrat le jour de son ouverture. En rouge, on a reporté sur chaque année le montant du contrat divisé par sa durée (par exemple un contrat de X euros débutant en 2003 et de trois ans est indiqué en 2003, 2004 et 2005 avec à chaque fois un montant de $(X/3)$ euros).



Nous observons une baisse pour l'année 2006, liée à un manque d'engagement en 2005. Cela résulte de notre volonté de ne pas surcharger de contrat les nouveaux arrivants pour aboutir à une meilleure intégration scientifique. L'activité contractuelle passée nous a permis de faire ce choix sans pénaliser nos investissements et nos dépenses.

V.7. Valorisation et partenariats industriels

Les contrats de recherche

Remarque préliminaire : Pour des raisons de confidentialité commerciale ou relative à la Défense Nationale, certains de nos partenaires industriels nous ont demandé une grande discrétion sur la nature de nos collaborations. Des accords de confidentialité ont été signés et les descriptions des contrats industriels seront donc succinctes.

V.7.1. Listes des contrats industriels

Contrat Euclide (Europe/DGA) - « Hyperspectral Polarimetric Active and Passive Imaging (HYPOLAC) » – Montant : 40 000 Euros. Durée = 3 ans. Début : 2003.

Contrat entreprise Société Trixell – « Contrat de collaboration en traitement d'images, phase 2 » – Montant : 7622,45 Euros. Contrats . Durée = 1 an. Début : 2003.

Contrat entreprise Société THALES systèmes aéroportés (TAS) - « Reconnaissance automatique de cibles militaires hors infrastructure adaptée à l'imagerie SAR submétrique par radar aéroporté ». Accompagnement Thèse CIFRE. – Montant : 22869 Euros. Durée = 3 ans. Début : 2004.

Contrat entreprise Société Trixell – « Contrat de collaboration en traitement d'images, phase 2 » – Montant : 7622,45 Euros. Durée = 1 an. Début : 2004.

Contrat entreprise Société Thales Communication (TCA) - "Technique de segmentation par grille active statistique et minimisation de la complexité stochastique" Accompagnement Thèse CIFRE. – Montant : 22869 Euros. Durée = 1 an. Début : 2004.

V.7.2. La valorisation et le partenariat industriel

Partenariat industriel: Nous ne mentionnons dans la suite que les relations qui se concrétisent par des contrats d'études ou des présentations communes auprès d'organisme. Le détail des contrats est présenté dans la section « II.2.4 Les contrats de recherche ».

Deux anciens doctorants de l'équipe (Christophe Chesnaud et Frédéric Guérault) ont créé une entreprise de traitement d'images en 2000 (Simag développement). Nous avons mis en place une collaboration importante autour d'une thèse qui a lieu majoritairement dans l'équipe Phyti, et dont le thème concerne la segmentation d'images (voir description du thème 1 dans la section II.3).

En association avec le doctorant formé, ils ont créé début 2006 une nouvelle entreprise dénommée KAOLAB. La précédente (SIMAG Development) se spécialise sur un produit d'interaction homme-machine avec une dizaine de collaborateurs. L'objectif de KAOLAB est orienté vers la création de modules de traitement d'images.

Nous avons poursuivi notre collaboration dans le cadre de l'imagerie optronique avec Thales. Cela s'est déroulé dans le cadre d'un contrat Eurofinder avec Thales TRT (laboratoires de recherche - Orsay) et Thales TOSA (systèmes optroniques - Guyancourt) sur le thème de l'imagerie active polarimétrique et hyperspectrale. Notre contribution a concerné plus précisément la participation à la spécification du système et à la définition des algorithmes de traitement des Images polarimétriques et hyperspectrales.

Une collaboration a été mise en place avec Thales TAS (systèmes aéroportés - Elancourt) dans le cadre d'une thèse CIFRE accompagnée d'un contrat d'étude sur le thème de la reconnaissance à partir de signaux radar. Cette collaboration doit se poursuivre sur le thème de la détection.

Une collaboration a été mise en place avec Thales TCA (systèmes de communication - Massy) dans le cadre d'une thèse CIFRE accompagnée d'un contrat d'étude sur le thème de la segmentation d'images radar.

Une collaboration a été mise en place avec L'ONERA (Salon de Provence) dans le cadre d'une thèse Région/ONERA sur le thème de l'analyse d'images radar polarimétriques et interférométriques.

Une collaboration a été mise en place avec la société Trixell (Grenoble) dans le cadre de contrats d'expertise sur le thème de l'analyse d'images à faible flux.

V.7.3. Participation au GDR-PRC ISIS : (actions depuis janvier 2000)

Mise en place et animation au sein du GT multicomposantes d'une journée thématique sur la Polarisation (F. Goudail).

Participation à différentes journées d'études.

Participation à l'AS « Bruits de Poisson mélangés » (A. Ferrari – Nice) puis à un programme math-STIC du CNRS (J.Y. Tournet - Toulouse).

V.7.4. Autres actions au sein de la communauté française

Présidence (Ph. Réfrégier) de la Société Française d'Optique.

Membre (Ph. Réfrégier) de comité d'attribution des Primes d'Encadrement et de Recherche en 2003 auprès du Ministère.

Membre de comité d'évaluation de laboratoire (Ph. Réfrégier) : MIPS Mullhouse (2004), Angers (2005), LTSI ENST Paris (2006), LIS Grenoble(2006).

V.8. Production scientifique PHYTI

Commentaire du bilan scientifique des 4,5 années précédentes : Nous présentons dans la suite notre bilan quantitatif et la liste des publications pour les 4 ans et demi qui se sont écoulés depuis janvier 2002. Nous observons une régularité par rapport aux périodes précédentes (1999-2002) avec une légère progression pour les publications dans les revues internationales. Nous avons également publié deux monographies en langue anglaise.

Livres :	3
Chapitres dans des livres :	3
Articles publiés dans des revues internationales à comité de lecture :	35
Articles publiés dans des journaux français :	1
Conférences invitées :	7
Conférences Internationales avec comité de sélection et actes :	32
Conférences Françaises avec comité de sélection et actes :	4

Optics Letters : 10, JOSA A : 11, IEEE Trans. on Image Processing : 3, IEEE PAMI : 2, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing : 2, Optics Express : 1, Applied Optics-Information Processing : 4, Pattern Recognition Letters : 1, Opt. Com : 1.

Remarques sur les notations qui suivent : les noms d'auteurs avec astérisque correspondent à des doctorants. Les noms d'auteurs de l'équipe PhyTI sont soulignés lorsque les publications sont faites avec des auteurs appartenant à d'autres institutions que l'Institut Fresnel. Les publications réalisées avec les doctorants sont mises à la fin de chaque rubrique.

V.8.1. Publications dans des revues à comité de lecture

V.8.1.1. Revues Internationales

ccsd-00080844, ***"Coherence polarization filtering and relation with intrinsic degrees of coherence"***, Réfrégier P., Roueff A., Optics Letters **31 (9)** 1175-1177 (2006)

ccsd-00079551, ***"Kullback relative entropy and characterization of partially polarized optical waves"***, Réfrégier P., Goudail F., Journal of the Optical Society of America A **23 (3)** 671-678 (2006)

ccsd-00018808, ***"Invariant polarimetric contrast parameters of light with Gaussian fluctuations in 3D"***, Réfrégier P., Roche M., Goudail F., Journal of the Optical Society of America A **23- n°1** 124-133 (2006)

ccsd-00079546, ***"Invariant degrees of coherence of partially polarized light"***, Réfrégier P., Goudail F., Optics Express **13 (16)** 6051-6060 (2005)

ccsd-00079544, ***"Polarization degree of optical waves with non Gaussian probability density functions: Kullback relative entropy-based approach"***, Réfrégier P., Optics letters **30 (10)** 1090-1092 (2005)

ccsd-00015578, ***"Mutual information-based degrees of coherence of partially polarized light with Gaussian fluctuations"***, Réfrégier P., Optics Letters **30 (23)** 3117-3119 (2005)

ccsd-00079463, ***"Speckle removal using a maximum-likelihood technique with isoline gray-level regularization"***, Bertaux N., Frauel Y., Réfrégier P., Javidi B., Journal of the Optical Society of America A **21 (12)** 2283-2291 (2004)

ccsd-00079884, ***"Contrast definition for optical coherent polarimetric images"***, Goudail F., Réfrégier P., IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **26 (7)** 947-951 (2004)

ccsd-00079555, ***"Entropy of partially polarized light and application to statistical processing techniques"***, Réfrégier P., Goudail F., Chavel P., Friberg A., Journal of the Optical Society of America A **21 (11)** 2124-2134 (2004)

ccsd-00079573, ***"Target localization in the three-dimensional space by wavelength multiplexing."***, Esteve-Taboada J.J., Réfrégier P., Garcia J., Ferreira C., Optics Communications **202** 69-79 (2002)

ccsd-00079909, ***"Target segmentation in active polarimetric images by use of statistical active contours"***, Goudail F., Réfrégier P., Applied Optics **41 (5)** 874-883 (2002)

ccsd-00079465, **"Real-time three-dimensional object reconstruction by use of a phase-encoded digital hologram"**, Matoba O., Naughton T. J., Frauel Y., Bertaux N., Javidi B., Applied Optics **41 (29)** 6187-6192 (2002)

ccsd-00079575, **"Invariant polarimetric contrast parameters of coherent light"**, Réfrégier P., Goudail F., Journal of the Optical Society of America A **19 (6)** 1223-1233 (2002)

ccsd-00103402, **"Cramer-Rao lower bound for the estimation of the degree of polarization in active coherent imagery at low photon level"**, Réfrégier P., Roche M., Goudail F., Optics Letters **31, (24)** 3565-3567, (2006)

ccsd-00103400, **"Linear relations of partially polarized and coherent electromagnetic fields"**, Réfrégier P., Roueff A., Optics Letters **31**, 2827--2829 (2006)

V.8.1.2. Revues Internationales avec Doctorants (*)

ccsd-00079459, **"Minimal stochastic complexity image partitioning with unknown noise model"**, Delyon* G., Galland F., Réfrégier P., IEEE Transactions on Image Processing **15 (10)**, acceptée pour publication (2006)

ccsd-00018807, **"SAR image segmentation by stochastic complexity minimization with non-parametric noise model"**, Delyon* G., Réfrégier P., IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **44 (7)** 1954-1961 (2006)

ccsd-00082508, **"Estimation of the degree of polarization of coherent light in the presence of uniform and nonuniform illumination"**, Goudail F., Réfrégier P., Roux* N., Journal of the Optical Society of America A, acceptée pour publication (2006)

ccsd-00015577, **"Nonparametric statistical snake based on the minimum stochastic complexity"**, Martin* P., Réfrégier P., Galland F., Guérault F., IEEE Transactions on Image Processing, acceptée pour publication (2006)

ccsd-00083957, **"Shannon entropy of partially polarized and partially coherent light with Gaussian fluctuations"**, Réfrégier P., Morio* J., Journal of the Optical Society of America A, acceptée pour publication (2006)

ccsd-00079426, **"Minimal stochastic complexity snake-based technique adapted to unknown noise model"**, Galland * F., Réfrégier P., Optics letters **30 (17)** 2239-2241 (2005)

ccsd-00079415, **"Multicomponent image segmentation in homogeneous regions by stochastic complexity minimization"**, Galland* F., Bertaux N., Réfrégier P., Pattern recognition **38(11)** 1926-1936 (2005)

ccsd-00079486, **"Cramer-Rao lower bounds on the estimation of the degree of polarization in coherent imaging systems"**, Roux* N., Goudail F., Réfrégier P., Journal of the Optical Society of America A **22 (11)** 2532-2541 (2005)

ccsd-00079438, **"Information theory-based snake adapted to multi-region objects with different noise models"**, Galland* F., Réfrégier P., Optics letters **29 (14)** 1611-1613 (2004)

ccsd-00079434, "**Synthetic Aperture Radar oil spill segmentation by stochastic complexity minimization**", Galland* F., Réfrégier P., Germain O., IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters **1 (4)** 295-299 (2004)

ccsd-00079888, "**Target detection with a liquid crystal-based passive Stokes polarimeter**", Goudail F., Terrier P., Takakura Y., Bigué L., Galland* F., Devlaminck V., Applied Optics **43 (2)** 274-282 (2004)

ccsd-00079883, "**Bhattacharyya distance as a contrast parameter for statistical processing of noisy optical images**", Goudail F., Réfrégier P., Delyon* G., Journal of the Optical Society of America A **21 (7)** 1231-1240 (2004)

ccsd-00079480, "**Influence of the noise model on level set active contour segmentation**", Martin* P., Réfrégier P., Goudail F., Guérault F., IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **26 (6)** 799-803 (2004)

ccsd-00079490, "**Influence of the order of diattenuator, retarder, and polarizer in polar decomposition in Mueller matrices**", Morio* J., Goudail F., Optics letters **29 (19)** 2234-2236 (2004)

ccsd-00079562, "**Photon noise effect on detection in coherent active images**", Réfrégier P., Goudail F., Delyon* G., Optics Letters **29 (2)** 162-164 (2004)

ccsd-00079559, "**Estimation of the degree of polarization in active coherent imagery by using the natural representation**", Réfrégier P., Goudail F., Roux* N., Journal of the Optical Society of America A **21 (12)** 2292-2300 (2004)

ccsd-00079440, "**Minimum Description Length Synthetic Aperture Radar image segmentation**", Galland* F., Bertaux N., Réfrégier P., IEEE Transactions on Image Processing **12 (9)** 995-1006 (2003)

ccsd-00079899, "**Performance parameters for detection in low-flux coherent images.**", Goudail F., Roux* N., Réfrégier P., Optics Letters **28 (2)** 81-83 (2003)

ccsd-00080066, "**Detection of objects composed of several regions by a region-configuration-estimation method**", Page* V., Garcia J., Réfrégier P., Journal of the Optical Society of America A **19 (2)** 306-314 (2002)

ccsd-00103407, "**Some practical issues in anomaly detection and exploitation of regions of interest in hyperspectral images**", Goudail F., Roux* N., Baarstad I., Loke T., Kaspersen P., Alouini M., Normandin X., Applied Optics **45-21**, 5223-5236 (2006) .

V.8.1.3. Revue Nationale avec doctorants (*)

ccsd-00079958, "**Paramètre de contraste dans des images cohérentes à faible flux**", Goudail F., Roux* N., Réfrégier P., Revue de l'Electricité et de l'Electronique **6-7** 85-90 (2003)

V.8.2. Conférences invitées dans des congrès

V.8.2.1. Internationales

ccsd-00080856, **"Coherence theory in the context of partially polarized light"**, Réfrégier P., Roueff A., Firth International Workshop on Information Optics (WIO-06) Toledo Espagne (2006)

ccsd-00080857, **"Degrees of coherence of partially polarized light : invariance and information properties"**, Réfrégier P., Goudail F., 0501-0511 International symposium on Optics and Photonics for Defense and security, Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks Bruges Belgique SPIE 5986 (2005)

ccsd-00079604, **"Noise and information in images"**, Réfrégier P., International Workshop Imaging at the limit IESC Cargèse (Corse) France (2004)

ccsd-00079541, **"Constrained Maximum likelihood and maximum a posteriori image restoration algorithms - Ringing effects reduction and influence of the a priori image in regularization"**, Roche M., Lantéri H., Applied Inverse Problems: Theoretical and Computational Aspects Lake Arrowhead États-Unis d'Amérique (2003)

ccsd-00079930, **"Estimation and detection in active polarimetric images"**, Goudail F., Réfrégier P., Workshop of the EOS Technical Group on Information Optics (IOG), Septembre 2002, Mannheim., 2002 Mannheim Allemagne (2002)

ccsd-00079469, **"Three-dimensional object reconstruction using phase-only information from a digital hologram"**, Matoba O., Naughton T. J., Frauel Y., Bertaux N., Javidi B., 122-128 Photonics Boston 2002 (Boston, USA) Boston États-Unis d'Amérique Proc. SPIE 4864 (2002)

V.8.2.2. Internationales avec doctorants (*)

ccsd-00079602, **"Minimum Description Length segmentation adapted to different image sensors"**, Réfrégier P., Galland* F., Martin* P., Delyon* G., Bertaux N., Goudail F., 1-11 International symposium on Optics and Photonics for Defense and Security London Royaume-Uni SPIE 5611 (2004)

V.8.2.3. Nationales

ccsd-00080860, **"Bruit: Caractérisation et Modèle"**, Réfrégier P., 8 ième entretien de la Physique-Industrie, Cité des Sciences et de l'industrie Paris-La Vilette France (2004)

V.8.3. Proceedings à comité de lecture

V.8.3.1. Internationaux

ccsd-00080867, **"Intrinsic degrees of coherence of partially polarized light ."**, Réfrégier P., Goudail F., - Speckle 06 SPIE Europe (2006)

ccsd-00083176, **"Comparison of the estimation of the degree of polarization from four or two intensity images degraded by speckle noise."**, Roche M., Réfrégier P., - EUSIPCO 2006 EURASIP (2006)

- ccsd-00080872, **"Estimation of the degree of polarization from two intensity images degraded by speckle noise"**, Roche M., Fade J., Réfrégier P., - Speckle 06 SPIE Europe (2006)
- ccsd-00080155, **"Comparison of the estimation of the degree of polarization from four or two intensity images degraded by speckle noise."**, Roche M., Réfrégier P., - EUSIPCO 2006 EURASIP (2006)
- ccsd-00080878, **"Contrast parameters of partially polarized light and application to polarization imaging."**, Réfrégier P., Roche M., Goudail F., 77 EOS Topical meeting on advanced optical imaging technique - (2005)
- ccsd-00079970, **"A UMP unbiased test for target detection in active coherent images"**, Tournet J.-Y., Ferrari A., Goudail F., Réfrégier P., 69-74 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Toulouse France - (2005)
- ccsd-00079959, **"Multispectral polarimetric imaging with coherent illumination: toward higher image contrast"**, Alouini M., Goudail F., Réfrégier P., Lallier E., Grisard A., 133-144 SPIE Defense and Security symposium Remote sensing VI SPIE Defense and Security Symposium Remote Sensing VI Orlando (USA) Orlando États-Unis d'Amérique D. H. Goldstein, D. B. Chenault SPIE 5432 (2004)
- ccsd-00079946, **"Detection enhancement of low contrast targets through active multispectral polarimetric imaging"**, Alouini M., Dolfi D., Goudail F., Réfrégier P., 10-12 EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques, Delft, 20-23 October 2003. EOS (2003)
- ccsd-00079937, **"Definition of a signal-to-noise ratio for object segmentation using polygonal MDL-based statistical snakes"**, Goudail F., Réfrégier P., Ruch O., 373-388 Energy minimization methods in computer vision and pattern recognition. A. Rangarajan, M. Figueiredo, J. Zerubia Springer (2003)
- ccsd-00079934, **"Contrast definition for imaging systems with different noises"**, Goudail F., Réfrégier P., 13-15 EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques, Delft, 20-23 October 2003 ISBN 3-00-012842-5 (2003)
- ccsd-00080880, **"Removing the speckle using a Maximum Likelihood technique and a triangular-lattice modelization"**, Bertaux N., Frauel Y., Javidi B., 223-232 SPIE 4864 SPIE Photonics (Boston) (2002)
- ccsd-00079620, **"Target localization based on wavelength multiplexing"**, Ferreira C., Réfrégier P., Esteve-Taboada J.J., Garcia J., 437-438 Giancarlo C. Righini, Anna Consortini SPIE 4829 19th Congress of the International Commission for Optics, "Optics for the quality of life.", 25-30 August 2002 Firenze, Italy (2002)
- ccsd-00079474, **"Three-dimensional imaging, compression, and reconstruction of digital holograms"**, Naughton T. J., Frauel Y., Matoba O., Bertaux N., Tajahuerce E., Javidi B., 104-114 Proc SPIE 4877 Opto-Ireland 2002 (2002)
- ccsd-00079619, **"Invariance properties of polarization in active imagery and applications to contrast definition"**, Réfrégier P., Goudail F., 598-599 Giancarlo C. Righini, Anna Consortini SPIE 4829 19th Congress of the International Commission for Optics : Optics for the Quality of Life, Florence (2002)

V.8.3.2. Internationaux avec doctorants

ccsd-00080866, **"Minimal stochastic complexity image partitioning with non parametric statistical model"**, Delyon* G., Réfrégier P., Galland F., - Twenty sixth International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering (MaxEnt 2006) CNRS (2006)

ccsd-00080865, **"Stochastic Complexity based Image Segmentation with unknown Noise Model"**, Delyon* G., Martin* P., Réfrégier P., Guérault F., Galland F., - Fifth International Workshop on Information Optics (WIO-06) (Espagne) - (2006)

ccsd-00080862, **"Nonparametric statistical level set snake based on the Minimization of the Stochastic Complexity"**, Martin* P., Réfrégier P., Galland F., Guérault F., - VISAPP 2006 (Portugal) - (2006)

ccsd-00080864, **"Influence of polarimetry and interferometry in the partition of polinsar images."**, Morio* J., Réfrégier P., Goudail F., Dupuis X., Dubois-Fernandez P., - EUSAR 2006 (Allemagne) - (2006)

ccsd-00080855, **"Polarimetric parameter estimation and classification using an automatic partition algorithm"**, Morio* J., Dupuis X., Dubois-Fernandez P., Goudail F., Réfrégier P., - 6th DLR-CNES Workshop 6th DLR-CNES Workshop Oberpfaffenhofen Oberpfaffenhofen Allemagne - (2006)

ccsd-00080876, **"Improving target detection with active multispectral polarimetric imaging"**, Alouini M., Dolfi D., Grisard A., Roux* N., Goudail F., Réfrégier P., Lallier E., Baarstad I., Kaspersen P., Normandin X., Bouchardy A. M., 325 Optro 2005 - (2005)

ccsd-00080874, **"SAR image segmentation by Stochastic Complexity Minimization and applications for joint radiometrical and geometrical information extraction."**, Denise L., Gemma* P., Galland F., Réfrégier P., - 6th DLR-CNES Workshop (Information Extraction and Scene Understanding for Meter Resolution Images) - (2005)

ccsd-00079492, **"Entropy-Alpha Analysis using Automatic Pre-Segmentation procedure"**, Dupuis X., Morio* J., Goudail F., Garestier F., Dubois-Fernandez P., - International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2005) IGARSS (2005)

ccsd-00079484, **"Minimum stochastic complexity based snakes adapted to different physical noises"**, Martin* P., Bertaux N., Réfrégier P., Guérault F., 109-114 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Toulouse France - (2005)

ccsd-00079488, **"Cramer-Rao bound for the estimation of the degree of polarization in coherent images."**, Roux* N., Goudail F., Réfrégier P., 125-129 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Physics in Signal and Image Processing, PSIP 2005 Toulouse France - (2005)

ccsd-00079448, **"Fast and automatic oil spill segmentation in Synthetic Aperture Radar images"**, Galland* F., Germain O., Bertaux N., Réfrégier P., - ESA_EUSC 2004 ESA_EUSC 2004 Madrid Madrid Espagne ESA (2004)

ccsd-00079461, **"Precision of the estimation of the degree of polarization in active coherent imagery"**, Roux* N., Réfrégier P., Roche M., Goudail F., 1-10 International Symposium on Military Remote Sensing

International Symposium on Military Remote Sensing London Royaume-Uni G. W. Kamerman, D. V. Willetts SPIE 5613 (2004)

ccsd-00079444, **"Active grid segmentation by stochastic complexity minimization adapted to different noise models"**, Galland* F., Bertaux N., Réfrégier P., 73-76 Third Symposium on Physics in Signal and Image Processing (PSIP) SEE (2003)

ccsd-00079943, **"A general framework for designing image processing algorithms for coherent polarimetric images"**, Goudail F., Galland* F., Réfrégier P., vol III, pp 153-156 ICIP 2003, Barcelone IEEE (2003)

ccsd-00079940, **"Signal-to-noise ratio definition and target detection in speckled and photon limited active images."**, Goudail F., Roux* N., Réfrégier P., 109-112 Third Symposium on Physics in Signal and Image Processing. SEE, Grenoble. SEE (2003)

ccsd-00079447, **"Merge, Move and Remove MDL based segmentation for synthetic aperture radar images"**, Galland* F., Bertaux N., Réfrégier P., 307-314 ACIVS Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS) (2002)

ccsd-00080074, **"Detection of objects composed of several regions using maximum likelihood based filters"**, Garcia J., Pagé* V., Réfrégier P., 443-444 Giancarlo C. Righini, Anna Consortini SPIE 4829 19th Congress of the International Commission for Optics, "Optics for the quality of life.", Firenze, Italy. (2002)

ccsd-00080051, **"Information Theory-based snake segmentation adapted to speckled images."**, Ruch* O., Goudail F., Réfrégier P., 1092-1093 Giancarlo C. Righini, Anna Consortini; SPIE 4829 19th Congress of the International Commission for Optics : Optics for the Quality of Life, Firenze. (2002)

V.8.3.3. Nationaux

ccsd-00079478, **"Algorithme de réduction de speckle basé sur le Maximum de Vraisemblance et modélisation des niveaux de gris par un maillage triangulaire continu"**, Bertaux N., Frauel Y., Javidi B., vol 1, page 325 GRETSI'03, 8-11 septembre 2003, Paris GRETSI'03, 8-11 septembre 2003, Paris Paris France - (2003)

V.8.3.4. Nationaux avec doctorants

ccsd-00018810, **"Segmentation d'images par minimisation de la complexité stochastique avec un modèle de bruit non paramétrique"**, Delyon* G., Martin* P., Réfrégier P., Guérault F., - Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA) Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA) Tours France - (2006)

ccsd-00079963, **"Segmentation non supervisée d'images polarimétriques passives"**, Terrier P., Losson O., Devlaminck V., Goudail F., Galland* F., Réfrégier P., - Colloque GRETSI'03 Colloque GRETSI'03 Paris France SEE (2003)

V.8.4. Séminaires, Workshops

V.8.4.1. Avec Doctorant

ccsd-00080881, **"Modèles de partition en zones homogènes par minimisation de la complexité stochastique"**, Martin* P., Delyon* G., Galland F., Réfrégier P., POPsud, journée thématique Imagerie Sophia-Antipolis France (2006)

ccsd-00079452, **"Segmentation d'image par minimisation de la complexité stochastique"**, Galland* F., Bertaux N., Réfrégier P., - MAJECSTIC'2003 MAJECSTIC'2003 Marseille France - (2003)

ccsd-00079608, **"Physique et traitement d'image: approches statistiques et imagerie active."**, Réfrégier P., Goudail F., Ruch* O., Journées d'Etude SEE, Le Traitement d'image à l'aube du XXI siècle. V27-28 Mars 2002, Paris – Porte de Versailles., 2002 Versailles France (2002)

V.8.5. Chapitres dans les ouvrages

ccsd-00081697, **"Speckle elimination with a Maximum Likelihood estimation and an isoline regularization"**, Bertaux N., Frauel Y., Javidi B., - Physics of Automatic Target Recognition Sadjadi/Javidi SPRINGER (2006)

ccsd-00079632, **"Polarimetric Imaging"**, Réfrégier P., Goudail F., Chavel P., 523-538 A.H. Guenther SPIE Press, Vol. V, 2002, (ISBN : 0-8194-4510-X) international Tends in Applied Optics, (A.H. Guenther ed), International Commission for Optics (2002)

V.8.5.1. Avec Doctorant

ccsd-00079499, **"Edge detection and location in SAR images: Contribution of statistical deformable models"**, Germain* O., Réfrégier P., 101-150 B. Javidi Marcel Dekker, Inc, New York 0-8247-0783-4 Image Recognition and Classification: Algorithms, Systems and Applications (2002)

V.8.6. Livres et ouvrages

V.8.6.1. En langue anglaise

ccsd-00080004, **"Statistical Image Processing techniques for Noisy Images - An application Oriented Approach"**, Goudail F., Réfrégier P., 254 Kluwer Academic/ Plenum Publisher ISBN 0-306-47865-X (2004)

ccsd-00079638, **"Noise theory and application to physics - From fluctuations to information"**, Réfrégier P., 288 Editions Springer, 2004, (2004)

V.8.6.2. En langue française

ccsd-00079639, **"Théorie du bruit et applications en physique"**, Réfrégier P., 248 Editions Hermès-Lavoisier, Paris, 2002, (ISBN 2-7462-0522-X). (2002)

V.8.7. Brevet

ccsd-00079644, **"Système de contrôle de polarisation sans butée dans une liaison optique"**, Réfrégier

P., Dolfi D., Huignard J. P., Bourderionnet J., France Brevet n° 0207375 2002-01-01

V.8.8. Autres

ccsd-00079890, "*Methods for automatic target recognition by use of electro-optic sensors: introduction to the feature issue*", Mahalanobis A., Goudail F., Applied optics **43 (2)** 207-209 (2004)

VI - EQUIPE MOSAIC, RAPPORT SCIENTIFIQUE



NB : Les activités de MOSAIC sont visibles sur <http://www.fresnel.fr/mosaic/>

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
MOSAIC	5	24	975

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	MOSAIC %	Date d'arrivée dans l'équipe
LENNE Pierre-François	CNRS	Chercheur	1	oct-01
BRASSELET Sophie	U3	Ens-chercheur	1	sept-06
WENGER Jérôme	CNRS	Chercheur	1	oct-05
FERRAND Patrick	U3	Ens-chercheur	1	févr-05
FAVARD Cyril	CNRS	ITA-IATOS	1	sept-06
MONNERET Serge	CNRS	Chercheur	1	sept-03
RIGNEAULT Hervé	CNRS	Chercheur	1	oct-94
Total servant au calcul de la répartition des crédits			7	

MOSAIC : Effectifs au 01/11/06

VI.1. Déclaration de politique scientifique

L'équipe MOSAIC de l'Institut Fresnel est spécialisée en **Biophotonique**, c'est-à-dire dans l'étude de problématiques relevant des sciences du vivant (Biologie, Médicale) et utilisant des méthodes, outils et techniques relevant de l'optique et de la photonique. L'équipe mène conjointement plusieurs thématiques centrées sur l'étude optique de l'architecture des membranes cellulaires, en étroite collaboration avec le Centre d'Immunologie de Marseille Luminy (CIML) et l'Institut de Biologie du Développement de Marseille Luminy (IBDML).

VI.2. MOSAIC : quand la photonique rencontre le vivant

L'équipe MOSAIC mène conjointement plusieurs actions de recherche associant pour chacune d'elle *un problème biologique* et *une instrumentation de microscopie optique*. La pertinence de notre recherche se définit à la fois sur *une originalité dans le traitement physique du problème biologique* et sur *une innovation instrumentale* et/ou *technologique*.

Les problèmes biologiques abordés sont :

- Etude dynamique de l'architecture de la membrane biologique et mécanismes d'activation (en collaboration étroite avec le CIML)
- Mécanique cellulaire et organisation tissulaire (en collaboration étroite avec l'IBDML)

Pour mener ces études l'équipe développe les dispositifs photoniques suivants :

- Composants nanophotoniques pour exalter les contrastes optiques (Nanotrous, Microcavités)
- Microscopie de corrélation de fluorescence (FCS)
- Microscopie confocale (à 1 et 2 volumes confocaux et/ou à 1 ou 2 longueurs d'onde d'excitation)
- Microscopie interférométrique (4 Pi)
- Microscopie à illumination structurée
- Microscopie Raman Spontanée et Stimulée (Raman confocal et CARS)
- Nanodissection laser
- Micromanipulation dynamique par pinces optiques holographiques (HOT)
- Microstéréolithographie

VI.3. Résultats Marquants 2002-2006

Le quadriennal 2002-2006 a permis à l'équipe de se renforcer en développant ses propres dispositifs de biophotonique. Au cours de cette période, notre groupe a démontré des réalisations scientifiques de premier plan, ce qui le positionne en bonne place sur la scène nationale et internationale. Parmi celles-ci on peut noter :

VI.3.1. Etude dynamique de l'architecture de la membrane biologique par microscopie de corrélation de fluorescence (FCS)

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

NB : Cette thématique est menée en étroite collaboration avec nos collègues du CIML (Groupe de D. Marguet). Une expérience de FCS et une se suivi de particules individuelles (SPT) ont été délocalisées en 2005 de l'Institut Fresnel vers le CIML pour

mener à bien ce programme de recherche. Biologistes et physiciens de Mosaic utilisent depuis ces instrumentations au CIML dans deux salles d'optique toutes spécialement aménagées.

La spectroscopie de corrélation de fluorescence (FCS) nous permet de mesurer des coefficients de diffusion localement dans la membrane cellulaire. Il s'agit d'un montage de microscopie confocale dans lequel nous étudions les fluctuations de luminescence de molécules individuelles rentrant et sortant du volume d'observation (de quelques $0.1 \mu\text{m}^3$) par diffusion translationnelle (Figure 1).

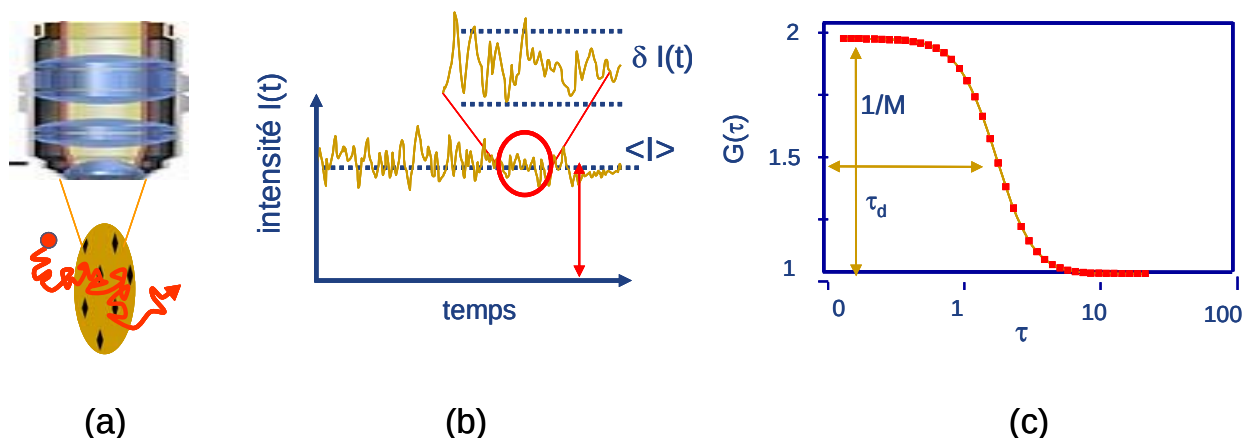


Figure 1 : La technique FCS utilise un montage de microscopie confocale pour définir un volume de collection de l'ordre de quelques μm^3 localisé au foyer d'un objectif de microscope de grande ouverture numérique (a). Des fluorophores présents dans la zone à analyser diffusent librement à travers le volume de collection en émettant de la lumière (a), le signal lumineux recueilli par l'objectif, et numérisé par des détecteurs ultra-sensible, présente des fluctuations correspondant aux entrées et sorties des fluorophores dans le volume de collection (b). Ces fluctuations sont analysées par un corrélateur qui construit le signal $G(\tau) = \langle I(t)I(t+\tau) \rangle / \langle I(t) \rangle^2$ permettant de mesurer le nombre moyen de fluorophores M présents dans le volume de collection ainsi que leur temps de diffusion τ_d (c).

Cette technique possède de nombreux avantages intrinsèques, comme une bonne résolution temporelle à l'échelle de la microseconde et une analyse statistique aisée. Cependant dans sa mise en œuvre standard, cette technique se heurte à des difficultés de détection et d'interprétation si la diffusion translationnelle s'effectue en présence d'hétérogénéités. C'est pourquoi, nous avons proposé une alternative consistant à effectuer des mesures pour des volumes d'observation dont l'extension spatiale est variable. Ce nouveau traitement conduit à établir des lois de «diffusion FCS» dont l'allure renseigne sur le caractère libre (Brownien) ou confiné de la diffusion observée ; il est alors possible de détecter des hétérogénéités plus petites que la résolution optique des microscopes conventionnels (Figure 2).

A- La question biologique

La communauté scientifique travaillant sur les membranes cellulaires débat depuis une dizaine d'années de l'existence de structures lipidiques de taille sub-micrométrique dénommées 'rafts' qui jouent un rôle important dans les processus de signalisation et de tri protéique. Ces domaines, bien caractérisés biochimiquement, n'ont jamais été observés in situ. Si leur composition est assez bien connue, peu d'informations existent en revanche sur leur dynamique et leur taille. De manière plus générale, nous abordons la question de la nature et l'origine des hétérogénéités membranaires : sont-elles stabilisées par la composition membranaire et/ou par le cytosquelette protéique sous-jacent ?

B- Diffusion confinée - Simulations

Notre méthode d'analyse repose sur l'étude des lois de diffusion de molécules se déplaçant dans une membrane complexe. Dans le cas d'une diffusion libre en 2D, le temps de diffusion mesuré par FCS est une fonction affine de la surface d'observation $\tau_d = \frac{w_0^2}{4D}$. Cette loi simple est modifiée si des structures membranaires forment des obstacles à la diffusion ou piègent transitoirement les molécules diffusantes. La figure 2 montre schématiquement les lois obtenues pour différents types de diffusion. Nous avons établi ces lois par simulations Monte-Carlo, en prenant en compte les caractéristiques d'une expérience de FCS. Ces lois nous permettent d'interpréter les expériences réalisées sur cellules vivantes.

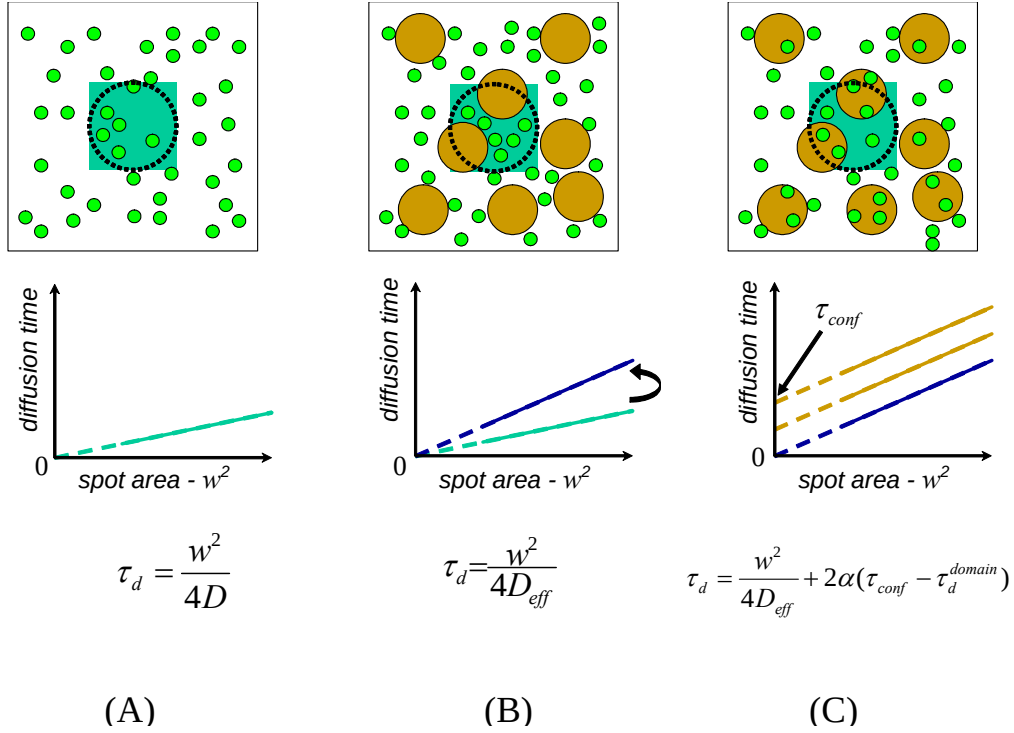


Figure 2 : Résultats attendus de FCS pour différents types de diffusion. (A) : Des molécules fluorescentes 'reporters' (points verts) sont uniformément distribuées dans une membrane sans obstacle et diffusent librement. Le temps moyen de diffusion à travers un spot d'observation de rayon w (waist) est strictement proportionnel à w^2 . La pente de la droite est reliée au coefficient microscopique de la molécule dans la membrane. (B) : En présence d'obstacles, (disques marron) la diffusion est normale à grande échelle (pour une surface d'observation plus grande que la taille typique des microdomaines), c'est-à-dire que le temps de diffusion est toujours proportionnel à w^2 , mais la pente est reliée à un coefficient de diffusion effectif D_{eff} qui dépend du coefficient de diffusion à l'extérieur des domaines D_{out} et de la densité de domaines d . (C) : Quand les domaines deviennent perméables, τ_d augmente linéairement avec w^2 mais l'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées est une fonction du coefficient de partition dans les domaines et du temps de confinement moyen dans un microdomaine τ_{conf} et la pente est associée au coefficient de diffusion effectif D_{eff} .

C- Mesure de diffusion dans les membranes

La technique de FCS que nous avons développée jusqu'en 2002 a été mise en œuvre durant ces trois dernières années pour établir les 'lois de diffusion FCS' de plus d'une dizaine de phospholipides et de protéines membranaires. Nous avons démontré que certains lipides et certaines protéines suivent des lois de diffusion confinée (exemple Figure 3). Pour chaque espèce moléculaire, on peut déterminer un temps de confinement moyen dans un microdomaine (temps moyen nécessaire à une molécule pour sortir du microdomaine) et un coefficient de diffusion effectif. Nous rapportons des temps de confinement des molécules associées aux microdomaines de l'ordre de quelques millisecondes jusqu'à plusieurs dizaines de millisecondes. De plus, une variation du contenu en cholestérol de la membrane provoque une modification drastique des temps de confinement. Ces résultats impliquent une description dynamique de la membrane

plasmique, dans laquelle les microdomaines sont des petites structures de moins de 60 nm de rayon, qui jouent un rôle significatif en modulant spatialement et temporellement l'organisation des constituants membranaires. Nous avons également montré que les lois de diffusion sont très différentes quand les molécules sont gênées dans leur diffusion par un réseau sous-jacent comme c'est le cas pour certaines protéines transmembranaires qui interagissent avec le cytosquelette. Certaines protéines sont même sensibles aux deux types de confinement (lipidique et de type réseau). Toutefois, bien que les deux processus puissent coexister, la diffusion apparente est dominée par le processus le plus « fort ». En faisant agir des drogues qui déstabilisent le cholestérol ou le cytosquelette, on peut mesurer la « force » respective de ces deux types de confinement.

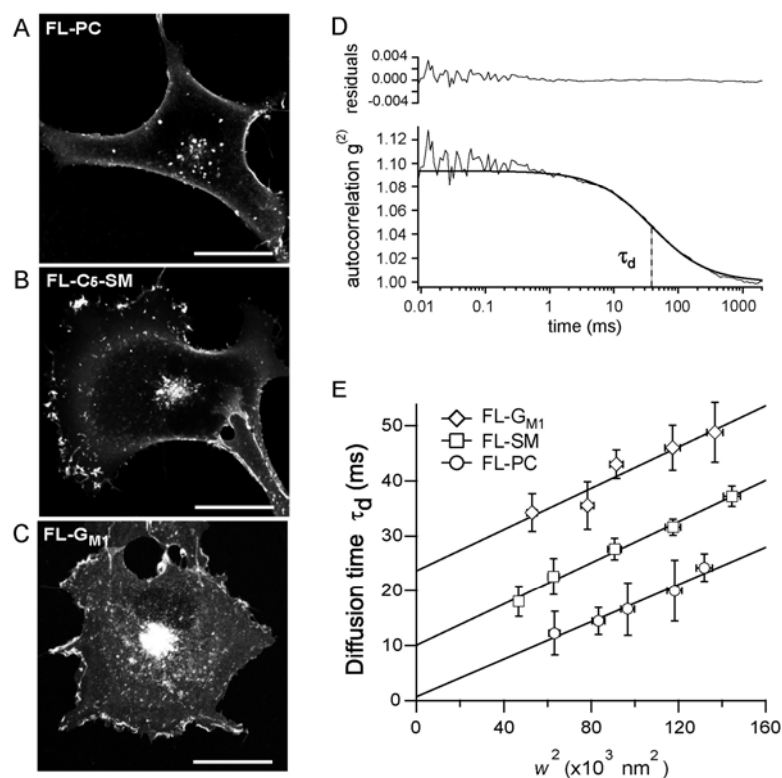


Figure 3 : Confinement membranaire des lipides. Etude de trois lipides membranaires analogues, marqués par un fluorophore le Bodipy (FL-): BODIPY-C₅-phosphatidylcholine (FL-PC), BODIPY-C₅-sphingomyelin (FL-SM), BODIPY-C₅-ganglioside-G_{M1} (FL-G_{M1}). Images confocales de cellules marquées respectivement par FL-PC (A), FL-SM (B) et FL-G_{M1} (C). (D) fonction d'auto-correlation temporelle de FL-G_{M1}. τ_d désigne le temps de diffusion de la molécule dans le volume d'analyse. (E) Lois de diffusion FCS expérimentales des trois lipides. FL-SM et FL-G_{M1} ont une loi de diffusion montrant un confinement de type microdomaines isolés (voir Figure 2-C).

D- Les lois de diffusion FCS membranaires sous la limite de diffraction optique

Les lois de diffusion FCS présentées Fig 3-E sont limitées par la limite de diffraction, il est en effet impossible de générer un volume d'observation dont l'extension spatiale sur la membrane est plus petite que la tâche de diffraction de l'objectif de microscope utilisé. Pour poursuivre l'exploration de cette loi de diffusion nous avons proposé en 2005 une nouvelle approche qui consiste à observer la membrane à travers un nanotrou percé dans un film métallique. En agissant comme un trou de filtrage, le nanotrou autorise une observation confocale d'une zone plus petite que la limite de diffraction optique. En étudiant par FCS la diffusion latérale de marqueurs individuels dans des membranes biologiques de cellules vivantes, on peut accéder à l'organisation fonctionnelle et la dynamique temporelle des membranes cellulaires avec une résolution spatiale submicrométrique, comme le montre le schéma de la figure 4.

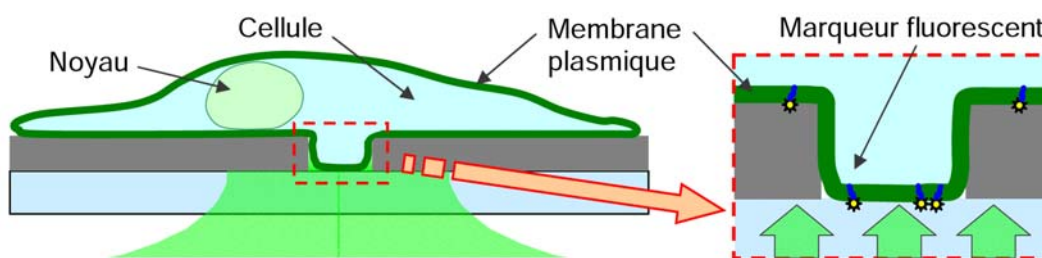


Figure 4 : Nanotrou individuel utilisé comme masque physique pour observer la diffusion de molécules fluorescentes incorporées dans la membrane plasmique de cellules vivantes.

Nous avons tout d'abord publié les résultats d'une étude de principe portant sur la diffusion latérale de lipides individuels fluorescents Bodipy-PC dans une membrane modèle de DOPC déposée au-dessus de nanotrous individuels. Ceci prouve que l'on peut effectuer des expériences de corrélation de fluorescence sur membranes à des échelles sub-longueur d'onde. Nous avons pu déterminer le coefficient de diffusion des fluorophores dans la membrane lipidique, ce qui permet de valider le dispositif expérimental et la méthode suivie.

Nous avons ensuite mis en œuvre les nanotrous pour observer la diffusion de différents lipides et protéines dans la membrane de cellules vivantes avec une résolution sous la limite de diffraction. La comparaison des comportements diffusifs pour différentes espèces garantit la pertinence de cette approche, et révèle la présence d'hétérogénéités membranaires qui contraignent la diffusion.

L'utilisation des nanotrous pour les mesures FCS constitue une nouvelle approche pour aborder les problèmes de l'organisation dynamique de membranes cellulaires. En effectuant des mesures pour plusieurs rayons de nanotrous, différents régimes diffusifs sont mis en évidence, et une estimation de la taille des hétérogénéités membranaires est donnée (Figure 5).

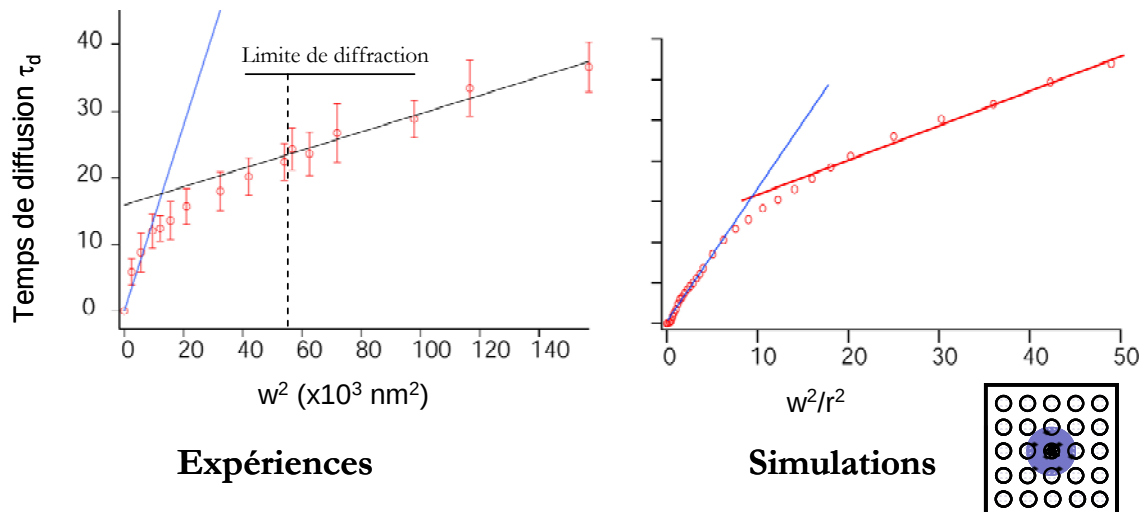


Figure 5 : Comparaison entre les lois de diffusion FCS expérimentales et les simulations. La courbe expérimentale a été obtenue pour l'analogie lipidique FL-GM1. Les points expérimentaux sous la limite de diffraction optique ont été mesurés à l'aide des trous sur lesquels des cellules ont été cultivées. On observe un régime diffusif de transition qui permet d'estimer la taille des structures membranaires à l'origine du confinement. D'après la simulation, cette transition apparaît lorsque l'aire d'observation est dix fois plus grande que celle d'un domaine ; les domaines ont alors ici un rayon d'environ 40 nm.

Cette thématique a donné lieu à quatre publications dans des revues à comité de lecture dont deux sont parues (RICL [4 et 9]) et deux sont acceptés dans un journal de biologie (Embo J.). La méthode des « lois de diffusion FCS » a été mise en exergue dans un « New and Notable » de la revue Biophysical Journal : « Fluorescence Correlation Spectroscopy » de M. Saxton, Biophys. J. 2005, 89:3678-79.

VI.3.2. Micro et Nanostructures photoniques pour exalter les contrastes optiques

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

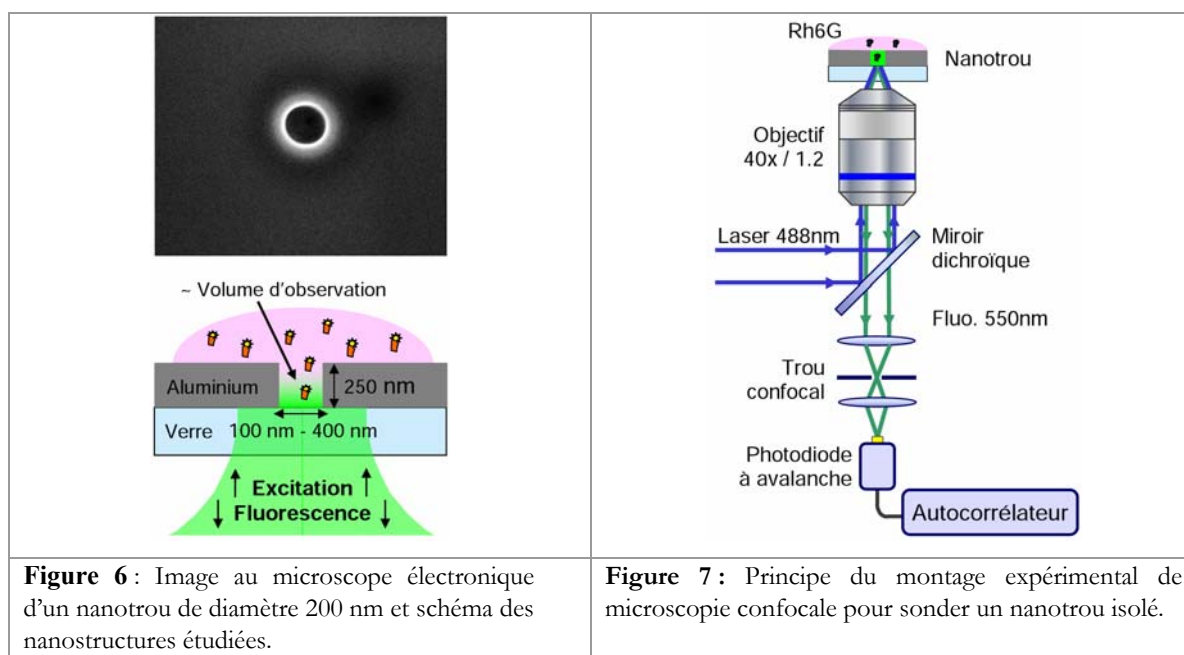
L'objectif de cette thématique est d'étudier et exploiter des micro- et nanostructures de formes contrôlées pour exalter les signaux optiques en biophotonique (fluorescence, diffusion Raman...). Grâce à ces dispositifs, nous cherchons à confiner le champ lumineux, pour induire de fortes sections efficaces et une exaltation du champ lumineux. Par rapport à d'autres techniques de nanophotonique (particules colloïdales, nanopointes...) nos structures ont l'avantage d'être simples et robustes lors de leur mise en œuvre, et donc aisément transposables à un laboratoire de biologie.

A-Emission optique dans des nanopuits individuels

Les études actuelles sur les trous nanométriques dans un métal *réel* portent essentiellement sur leurs propriétés de transmission optique en champ lointain. Nous proposons dans notre groupe une autre approche : étudier ces structures avec des molécules luminescentes pour sonder localement le champ lumineux dans la nanostructure et le couplage émetteur dipolaire - nanostructure.

Pour cela, nous suivons l'émission de fluorescence de molécules individuelles qui diffusent dans des trous nanométriques isolés percés dans un film métallique (Figure 6). Ces nanotrous peuvent être circulaires ou rectangulaires, et possèdent des dimensions inférieures à la longueur d'onde optique (pour la réalisation et la caractérisation des nanostructures, nous collaborons avec le groupe de T. Ebbesen de l'Institut des Sciences et Ingénieries Supramoléculaires ISIS de Strasbourg CNRS UMR 7006).

En appliquant la technique de spectroscopie par corrélation de fluorescence (FCS), nous déterminons précisément le nombre moyen de molécules observées, ce qui permet de quantifier ensuite très simplement le nombre moyen de photons détectés par émetteur (Figure 7). Nous démontrons ainsi qu'un trou nanométrique permet d'exalter la fluorescence de molécules individuelles d'un facteur significatif environ égal à 6-7 pour une structure circulaire optimisée.



Nous avons cherché à comprendre l'origine de cette exaltation de la fluorescence, ce qui nous a amené à différentes études à la fois théoriques et expérimentales (en collaboration avec l'équipe CLARTE de

l'Institut Fresnel). Hors saturation du fluorophore, nous montrons que l'essentiel du phénomène d'exaltation peut se comprendre comme une augmentation locale de l'intensité d'excitation. Cette exaltation du champ excitateur intervient au voisinage de la coupure du mode fondamental pouvant se propager dans le guide formé par le nanotrou. De manière surprenante, aucune résonance avec un plasmon de surface n'est alors mise en œuvre. Par ailleurs, nous avons également observé une réduction importante du temps de vie de la molécule (supérieure à 10), ainsi qu'un retard dans l'instauration de la saturation de la fluorescence. Ceci traduit une modification des paramètres photophysiques de l'émetteur, notamment une augmentation du coefficient de couplage radiatif.

Un deuxième effet des nanopuits est de réduire fortement le volume d'analyse par rapport au volume standard obtenu en microscopie confocale, avec un facteur de réduction d'environ 400. On peut ainsi contourner les limites imposées par la diffraction, et notamment observer des molécules individuelles dans des solutions de fortes concentrations (une concentration élevée est une condition nécessaire au déclenchement de certaines réactions biochimiques, notamment enzymatiques).

Cette thématique a été initiée en 2003 par le projet ACI nanosciences « Nanospot ». Elle se poursuit actuellement au travers de l'ANR 05 NANO 035 01 « Coexus » pour développer des biopuces à ADN de haute sensibilité mettant en œuvre des structures à nanotrous dans des films métalliques. Elle a par ailleurs donnée lieu aux publications RICL [4, 5, 7 et 10]

B- Corrélation de fluorescence sur miroirs

Dans une étude théorique et expérimentale, nous avons démontré que des miroirs diélectriques permettent d'une part d'exalter le signal de fluorescence émis et d'autre part d'accéder à des coefficients de diffusion dans des espaces cellulaires dont l'extension spatiale est inférieure à la longueur d'onde. En utilisant la figure d'interférence produite par un faisceau fortement focalisé sur le miroir (Figure 8), il est possible de mesurer des coefficients de diffusion en FCS de manière très précise.

Cette nouvelle approche de la FCS a été récemment utilisée au laboratoire pour mesurer la diffusion de protéines fluorescentes dans des bactéries placées directement sur le miroir diélectrique. Ces travaux ont donné lieu au dépôt d'un brevet (déposé par le CNRS) et à la publication des RICL [1, 15,17 et 20]

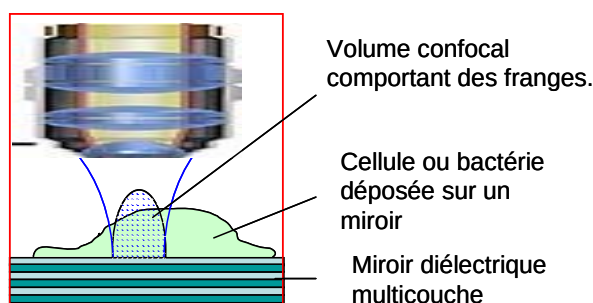


Figure 8 : Lorsqu'un objet biologique (cellule ou bactérie) est déposé sur un miroir réfléchissant à la fois le faisceau excitateur et la lumière de fluorescence, on tire partie d'un effet de contrôle de l'émission spontanée pour la luminescence émise et d'un effet d'ultra-résolution suivant l'axe optique provenant de la présence des franges d'interférences produites pour le faisceau excitateur.

VI.3.3. Microscopie sans marquage CARS

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

Pour compléter les techniques de microscopie ultra-sensibles déjà mises en place, nous nous sommes lancés, en 2002, dans le développement d'une nouvelle technique de microscopie permettant de s'affranchir de marqueurs luminescents pour imager des entités moléculaires présentes dans les cellules et les tissus.

En effet, les techniques d'imagerie conventionnelle utilisent des molécules fluorescentes qu'il faut venir associer aux lipides et protéines d'intérêt. La technique CARS (pour Coherent Anti-stokes Raman Scattering) met en œuvre un effet d'optique non linéaire (mélange à quatre ondes) qui permet de peupler *spécifiquement* une transition Raman moléculaire d'intérêt de pulsation Ω_R . Plus précisément, il s'agit d'illuminer un objet biologique placé au foyer d'un objectif de microscope avec deux impulsions ultra-courtes (de pulsations respectives ω_p et ω_s) dont la différence de fréquence est égale à la fréquence Raman $\Omega_R = \omega_p - \omega_s$ que l'on veut exciter. Cela provoque une interaction non linéaire qui conduit à l'émission d'un signal Raman Anti-stokes ω_{AS} spécifique de la transition Raman peuplée et vérifiant $\omega_{AS} = 2\omega_p - \omega_s$ (Figure 9-A).

Cette technique permet de réaliser une imagerie spécifique de la densité locale d'une liaison chimique sans avoir recours à des marqueurs luminescents exogènes ou endogènes comme c'est généralement le cas en microscopie de fluorescence. Le signal Raman stimulé généré est localisé au foyer de l'objectif de microscope, il est quelques ordres de grandeur plus intense qu'un signal Raman spontané classique et est exploitable directement sur des tissus vivants. CARS met en œuvre un système laser unique en France capable de délivrer des impulsions ultra-brèves entre deux oscillateurs Saphir-Titane synchronisés (Figure 9-B). Durant les années 2003 et 2004, nous avons procédé à un étalonnage systématique de notre expérience sur des échantillons tests (solutions et billes de polystyrène).

L'année 2005 a été consacrée à la phase d'évaluation dans le contexte biologique : nous avons pu imager la liaison C-H dans des cellules (Figure 9-C) et vésicules artificielles. Néanmoins l'étude de l'architecture lipidique de la membrane cellulaire nécessite de distinguer certains lipides parmi les nombreux types présents. Nous nous concentrons maintenant à l'exploration du signal généré par la liaison C-D. En effet, les lipides deutérés sont très peu invasifs et donnent accès à un contraste vibrationnel spécifique que nous cherchons à utiliser.

Par ailleurs, dans le cadre d'une collaboration avec un médecin australien, nous réalisons des images CARS sur des échantillons de tissus d'utérus humain sains ou affectés de prééclampsie, une maladie touchant les zones d'accroche du placenta.

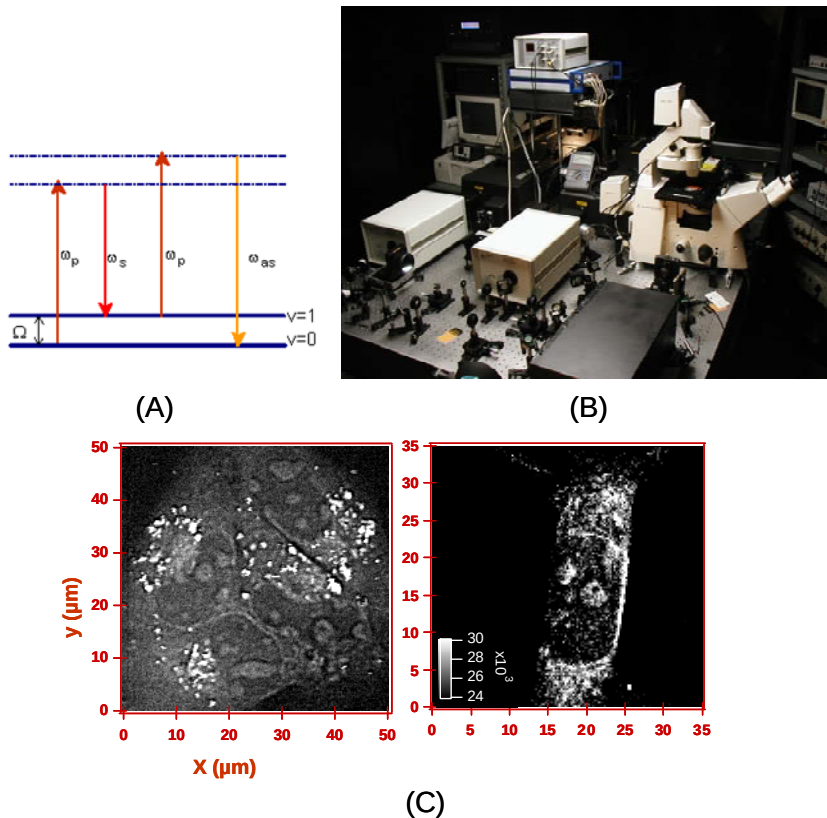


Figure 9: La technique CARS (Coherent Antistokes Raman Scattering) utilise deux impulsions synchronisées ultra-brèves (ω_p et ω_s) dont la différence de fréquence est égale à la fréquence Raman $\Omega_R = \omega_p - \omega_s$ que l'on veut exciter. Un processus de mélange à quatre ondes (A) permet de produire un signal de luminescence paramétrique à la fréquence $\omega_{AS} = 2\omega_p - \omega_s$. Deux laser Ti:Saph synchronisés génèrent les deux impulsions qui doivent être superposées et synchronisées au foyer de l'objectif de microscope (B). (C) images de cellules COS à 2845cm^{-1} (liaison C-H). On distingue clairement les membranes et vésicules lipidiques internes.

VI.3.4. Micromanipulation par pinces optiques holographiques

Chercheur impliqué : S. Monneret

Nous avons mis en place un outil de micromanipulation optique, donc sans contact, permettant de déplacer des billes microniques ou des cellules vivantes en trois dimensions. Cette technique, connue sous le nom de pinces optiques, est basée sur les forces réfractives qui s'exercent lorsqu'un objet transparent est placé dans un faisceau lumineux fortement focalisé. La particularité de notre appareillage réside dans l'utilisation d'un modulateur spatial de phase qui permet de réaliser une multitude de pièges optiques sur des motifs arbitraires, par diffraction sur un objet de phase piloté en temps réel par ordinateur. Un tel montage de pinces optiques holographiques permet alors de réaliser le pilotage dynamique d'un ensemble de particules, individuellement les unes des autres. Nous avons en particulier défini une manière originale de piloter ces billes sur plusieurs plans, à partir de sous-hologrammes et de distributions de phase de type "lentilles de Fresnel", qui nous permettent de diminuer sensiblement les temps de calcul des hologrammes et ainsi d'accéder au pilotage interactif tridimensionnel des pièges.

Le cœur du projet lié aux pinces optiques holographiques, et mené en interaction forte avec le CIML (thèse de F. Belloni, cofinancée par Carl Zeiss et le Conseil Régional PACA), consiste à développer une méthodologie pour obtenir des interactions multiples, avec un contrôle spatial et/ou temporel, entre des billes recouvertes d'anticorps et la membrane de cellules vivantes. On arrive ainsi à générer des stimuli "intelligents", de façon interactive, sur des cellules cibles individuelles vivantes (Figure 10). Dans ce cadre, notre appareillage

est actuellement utilisé pour activer le récepteur membranaire EGFR impliqué dans de nombreuses voies de signalisation du système immunitaire.

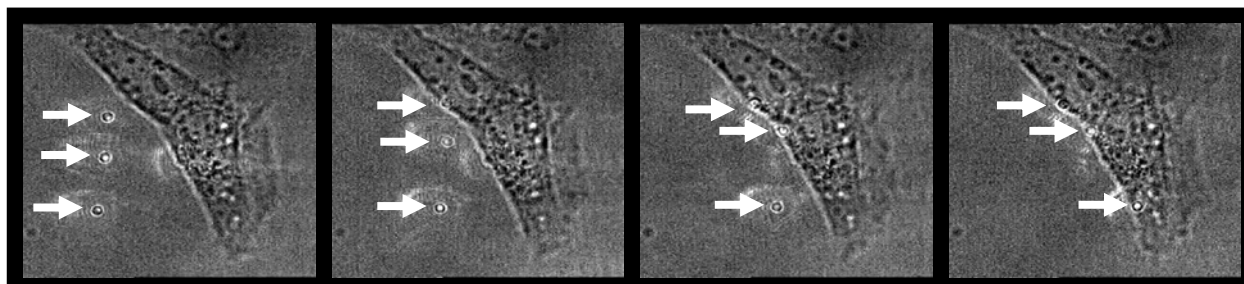


Figure 10: Exemples de stimulation multiple et séquentielle d'une cellule vivante (cellule de singe COS) : 3 billes de silice fonctionnelles (activation du récepteur membranaire EGFR, ici associé au fluorophore GFP) sont successivement appliquées sur le bord de la membrane de la cellule cible choisie. Les trajectoires des billes sont prédéfinies par la donnée des points de départ et d'arrivée, puis le pilotage est effectué de façon automatique. Le contrôle temporel des contacts est défini par la longueur de chaque trajectoire. La réponse de la cellule aux stimuli est analysée par l'étude du recrutement de EGF-GFP au voisinage de la zone d'interaction avec les billes.

VI.3.5. Microstéréolithographie

Chercheur impliqué : S. Monneret

Suite à la mutation de Serge Monneret, de Nancy vers Marseille, nous avons maintenant à disposition un procédé de microstéréolithographie permettant le prototypage rapide de pièces millimétriques en polymère, de formes complexes (Figure 11). Conformément aux engagements pris avant cette mutation avec le CNRS (MRCT), cette machine va être mise très prochainement à disposition de toutes les unités de recherche qui le souhaiteraient. Au niveau local, elle est utilisée pour la réalisation de chambres d'analyse complexes intégrant des fonctions microfluidiques.



Figure 11 : Exemples de pièces fabriquées au Laboratoire (échelle : barre=1 mm). L'oreille est réalisée avec des couches de polymère de 20 μ m d'épaisseur.

VI.4. Perspectives pour la période 2006-2010

La période 2006-2010 va voir les arrivées par mutation dans l'équipe d'une enseignant-chercheur (S. Brasselet) et d'un ingénieur de recherche CNRS (C. Favard) qui vont s'intégrer dans les projets scientifiques existants ou à venir. Parmi ces derniers nous avons lancé courant 2006 les axes suivants:

VI.4.1. Mécanique cellulaire dans l'embryon de drosophile

Chercheur impliqué : P.-F.. Lenne

Notre groupe de recherche s'implique actuellement dans l'étude de la mécanique cellulaire (en collaboration avec l'IBDML) autour d'une problématique de réarrangement cellulaire à un stade précoce de l'embryogénèse chez la drosophile. Le projet vise à développer des méthodes spécifiques pour mesurer et déterminer le rôle des forces de tension corticale du réseau d'acto-myosine associées à la morphogénèse tissulaire *in vivo*. Il s'inscrit dans le cadre d'un projet financé par l'ANR (ANR Blanc 2005 Drosactincut). Nous développerons pour cela un microscope capable de nano-disséquer le réseau d'acto-myosine aux interfaces cellulaires à l'aide d'une impulsion laser femtoseconde (Figure 12).

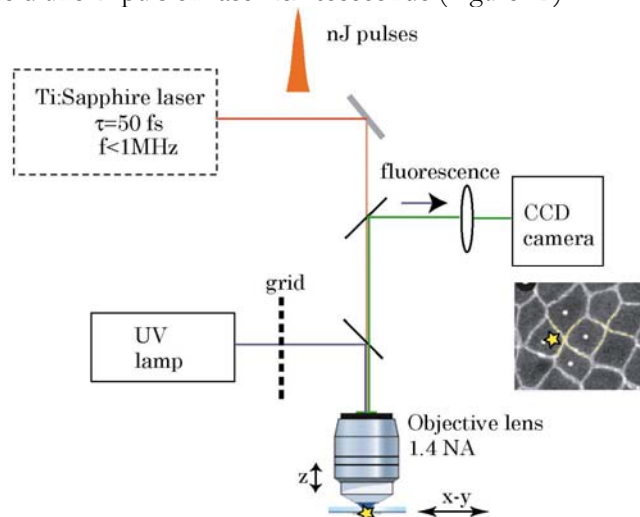


Figure 12 : Schéma de l'expérience de nanodissection. Des impulsions femtosecondes sont focalisées par un objectif de microscope sur l'échantillon. L'imagerie est réalisée par illumination structurée.

Ce système sera mis en œuvre pour l'étude des forces d'interactions cellulaires au cours de réarrangements morphogénétiques, en particulier les remodelages d'interfaces cellulaires dans l'embryon de la drosophile. Nous étudierons en particulier l'intercalation cellulaire, un processus conservé reposant sur le remodelage polarisé des interfaces adhérentes de cellules épithéliales. Le système étudié est l'embryon précoce de drosophile, un système remarquablement adapté aux méthodes récentes d'imagerie permettant de suivre la dynamique cellulaire et moléculaire *in toto*, et en raison des approches fonctionnelles génétiques propres au modèle drosophile.

L'étude du mouvement des filaments fragmentés et l'observation des réarrangements cellulaires nous permettront d'identifier les mécanismes moteurs de l'intercalation et probablement la distribution des «générateurs» de force responsables du remodelage des jonctions adhérentes.

VI.4.2. Spectroscopie de corrélation spatiale de fluorescence et signalisation cellulaire

Chercheur impliqué : P. Ferrand

La pertinence des résultats obtenus par spectroscopie de corrélation de fluorescences nous a incités à mettre au point une nouvelle expérience plus élaborée pour étudier spécifiquement la progression d'événements de signalisation dans la cellule (en collaboration avec le CIML). A l'information temporelle fournie jusqu'alors, l'approche que nous développons ajoutera une dimension spatiale, en faisant intervenir

deux volumes d'observations distincts positionnés en des lieux stratégiques d'une même cellule, comme illustré sur la figure 13. Couplé à un système de micromanipulation/microinjection, cet appareillage permettra une véritable quantification des événements cellulaires de diffusion et de signalisation. Ce programme de recherche s'inscrit dans l'ANR 2005 – 05 BLAN 0337 02 MnemoSig.

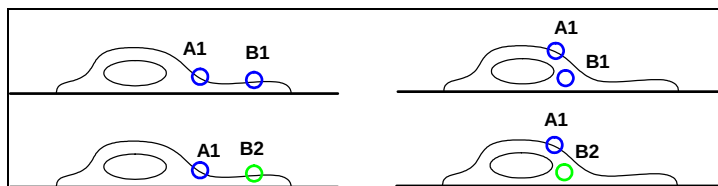


Figure 13 : Les fluctuations de fluorescence de deux zones A et B d'une même cellule seront mesurées simultanément, lors de l'activation. Les molécules marquées peuvent être identiques (cas A1B1) ou différentes (cas A1B2)

VI.4.3. Micro et Nanostructures photoniques

Chercheurs impliqués : J. Wenger, H. Rigneault

Nous souhaitons poursuivre cette thématique en combinant des sujets de recherche fondamentale avec des applications en biophotonique.

A- Nanotrous

Du point de vue de la compréhension des phénomènes optiques dans une nano-ouverture de forme contrôlée, nous approfondirons nos études sur l'émission de fluorescence de molécules individuelles placées dans des nanotrous isolés, afin de déterminer les modifications induites sur les paramètres photophysiques de la molécule et sur le diagramme de rayonnement. On exploitera des nanotrous simples ainsi que d'autres systèmes plus complexes présentant des gravures périodiques autour de l'ouverture centrale (afin de maximiser le couplage avec les modes plasmons de surface). L'influence de ces motifs supplémentaires sur la détection de signaux optiques sera mesurée. En complément de l'étude de la fluorescence, on examinera également l'exaltation induite par la nanostructure sur l'émission optique par diffusion Raman (spontanée et stimulée). Différentes expériences seront conduites pour valider l'architecture donnant la plus forte exaltation du signal optique, et pour évaluer les gains en sensibilité et reproductibilité par rapport à l'utilisation de nanoparticules colloïdales.

Concernant les applications des nano-ouvertures pour la biophotonique, nos connaissances sont actuellement valorisées à travers une collaboration avec la société Genewave pour développer de nouveaux systèmes de biopuces à ADN de haute sensibilité (ANR Coexus 05 NANO 035 01). Pour des applications en biochimie, grâce à la limitation du volume d'analyse, on peut également envisager déterminer des constantes d'associations et des cinétiques pour des associations de faible affinité, notamment des hybridations de brins d'ADN. Enfin, l'ultra-résolution optique fournie par les nanotrous sera mise à profit pour étudier par FCS l'organisation et la dynamique de membranes cellulaires à l'échelle submicronique et dans des conditions garantissant la viabilité des cellules (collaboration avec le Centre d'Immunologie de Marseille-Luminy).

B- Microcavité pour la microscopie non linéaire

Afin d'augmenter le signal CARS généré dans un échantillon biologique (cellule ou tissu) nous développons un montage de microscopie CARS en microcavité. L'idée est d'utiliser la résonance électromagnétique d'une cavité Fabry-Perot pour exalter le signal CARS. Contrairement au cas de la fluorescence nous espérons bénéficier d'un gain cohérent CARS intracavité permettant d'obtenir un meilleur

sensibilité. Outre cette finalité nous cherchons à mieux comprendre le processus CARS en faisceau très focalisé et son interaction avec une structure optique résonante.

VI.4.4. Façonnage d'impulsions temporelles pour l'imagerie non-linéaire cohérente

Chercheur impliqué : S. Brasselet

S'appuyant sur l'arrivée de S. Brasselet dans l'équipe, nous envisageons de compléter les approches existantes de l'analyse de structures bio-moléculaires dans les membranes et les tissus par une technique d'imagerie non-linéaire innovante basée sur le contrôle cohérent en polarisation et en phase d'impulsions ultra-courtes.

Les processus non-linéaires cohérents de génération d'harmoniques (SHG, THG) et de mélanges de fréquences (SFG, CARS) sont connus pour être extrêmement sensibles à la symétrie de l'assemblage moléculaire excité. Il est ainsi possible de connaître localement la symétrie et le degré de désordre dans une distribution de molécules actives, grâce à une analyse polarimétrique de ces réponses. La technique qui sera mise en place repose sur la possibilité d'associer à une impulsion laser d'une dizaine de fs différents états de polarisation d'excitation contrôlés en phase. Ces profils sont maîtrisés par le contrôle de leur phase spectrale dans l'espace de Fourier par dispersion puis traversée d'un modulateur spatial de lumière (SLM). Le codage d'un profil spectral en polarisation, récemment réalisé pour le contrôle cohérent de transitions polarisées à deux photons dans l'atome de Rubidium ou de signaux CARS, peut être obtenu en utilisant deux SLMs. Nous utiliserons une configuration similaire dans laquelle l'ajout d'un troisième SLM permettra d'ajouter un contrôle en amplitude utile pour la différenciation des mélanges de fréquences (Figure 14).

Ce codage spectral est particulièrement intéressant dans des processus non-linéaires SHG ou CARS dans lesquels les caractéristiques de la structuration moléculaire pourront être directement lues par décodage spectral polarisé du signal généré dans l'échantillon. Cette configuration peut ainsi être ainsi directement mise à profit pour la caractérisation dynamique locale de réponses non-linéaires dans des structures ordonnées de chromophores actifs dans des domaines membranaires, mais également dans les réponses intrinsèques présentes dans les tissus.

Ces impulsions permettront également d'accéder indépendamment à des coefficients tensoriels croisés des couplages non-linéaires, qu'il était impossible de discriminer jusqu'alors, fournissant ainsi un nouveau type de contraste structural dans les assemblages moléculaires étudiés. Enfin, ce contrôle cohérent en polarisation et en phase permettra d'exalter des processus non-linéaires par l'optimisation de certains types d'accords en phase, ou encore en adressant de manière cohérente des systèmes moléculaires multipolaires, dans lesquels les règles de sélections en polarisation des transitions électroniques multiphotoniques sont spécifiques à leur symétrie.

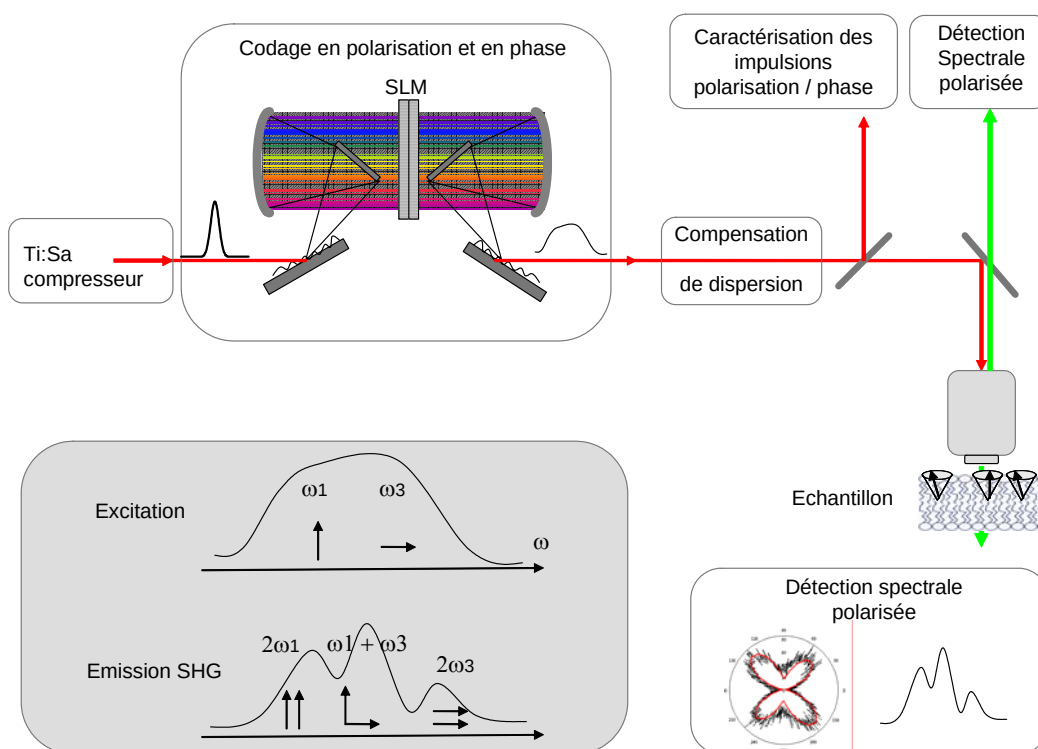


Figure 14 : Façonnage d'impulsions temporelles pour l'imagerie non-linéaire cohérente : Une impulsion ultra-brève est façonnée en polarisation avant d'interagir à travers un processus non linéaire avec un échantillon biologique. L'étude spectrale et polarimétrique du rayonnement émis doit permettre d'obtenir des informations sur la symétrie et le degré de désordre des structures moléculaires sondées.

VI.4.5. Contrôle spatio-temporel de stimuli sur des cellules individuelles vivantes

Chercheur impliqué : S. Monneret

Nous chercherons à combiner la microstéréolithographie et les pinces optiques holographiques pour dresser la cartographie de réceptivité membranaire de cellules individuelles vivantes, en milieu contrôlé. Pour cela, nous réaliserons des chambres d'analyse comprenant des fonctionnalités en microfluidique (canaux permettant l'injection de médicaments) par microstéréolithographie, compatibles avec la stimulation locale par pinces optiques. Des premiers essais combinant les deux techniques ont permis d'isoler les billes des cellules dans nos échantillons grâce à la réalisation de structures comprenant des réservoirs de billes et des chambres de confinement. Ainsi, nous empêchons tout stimulus non désiré sur la membrane de la cellule visée (conférence invitée aux Etats-Unis, voir [PROC2]), et nous avons démontré notre capacité à réaliser des composants pour la microfluidique, que nous développerons encore dans les années à venir.

VI.5. Relations internationales et rayonnement

Collaborations :

- L'équipe MOSAIC interagit étroitement avec les équipes CLARTE, SEMO et ϕ TI de l'Institut Fresnel sur des problèmes respectivement de modélisation électromagnétique, d'instrumentation en microscopie et de traitement d'image. Plusieurs publications et communications internationales associent les chercheurs de ces équipes.
- L'équipe MOSAIC collabore très étroitement avec les Laboratoires de biologie marseillais CIML et IBDML

- Pour la thématique des micro et nanostructures optiques, l'équipe MOSAIC collabore activement avec l'institut des sciences et d'ingénierie supramoléculaires ISIS (Strasbourg), la société Genewave (Palaiseau) et le Laboratoire marseillais AFMB (Architecture et Fonctions des Macromolécules Biologiques).

Europe

- L'équipe MOSAIC est membre du réseau d'excellence 'Nano to Life'

Groupements de recherches, réseaux

- H. Rigneault est membre du bureau du GdR 2588 'Microscopie Fonctionnelle du Vivant' (Dept SDV).
 - H. Rigneault est animateur d'un groupe thématique du GdR 'Ondes' (Dept CNRS Ingénierie)
 - S. Monneret est membre du comité de pilotage du Réseau Technologique "Microscopie photonique de Fluorescence Multidimensionnelle (RT-MFM), réseau de la Mission des Ressources et Compétences Technologiques du CNRS

Organisation de manifestations scientifiques

- H. Rigneault et P.-F. Lenne ont coorganisé l'Ecole d'été Internationale 'Live Cell from Micro to Nano : Mind the gap (Nano-Bio)', Centre scientifique de Cargèse, 17-29 juillet 2006 – 100 personnes
 - H. Rigneault a coorganisé avec D. Marguet (CIML) l'atelier INSERM 161 'Imagerie Dynamique fonctionnelle du vivant : de la détection de molécules uniques à la visualisation des tissus' 27 juin-2 juillet 2005 – La Londe - 70 personnes
 - P.-F. Lenne est co-animateur du groupe de travail : 'Biologistes, Chimistes, Physiciens une communauté Marseillaise' – 100 personnes

VI.6. Valorisation industrielle

L'équipe mène une politique de valorisation industrielle avec des entreprises travaillant dans le développement (1) d'instruments d'optiques (essentiellement microscopes et lasers) et (2) de composants micro et nanophotoniques permettant de réaliser des tests biologiques (biochip).

Partenariat industriels:

- Partenariat avec la société **Carl Zeiss France** depuis 2002 pour le développement d'une nouvelle technique de 'Pincés Optiques Dynamiques' – Cofinancement d'une thèse
 - Partenariat avec la société **Amplitude Système** depuis 2005 pour le développement des techniques de nanoablation laser dans les cellules et tissus biologiques. – Cofinancement d'une thèse
 - Partenariat avec la société **ST Microélectronique** pour le développement de biopuces sur silicium. Financement de thèses et Post Docs
 - Partenariat avec la société **Genewave** pour le développement de biopuces à ADN nanostructurées. Dans le cadre de l'ANR Coexus 05 NANO 035 01

Chaque fois qu'ils en ont l'occasion, les chercheurs de MOSAIC déposent des brevets portés par le CNRS ou en partenariat avec un industriel. Sur la période 2002-2006 nous avons déposé les brevets suivants :

Brevets :

- 1- Microscope Confocal interférométrique
 Brevet CNRS n° FR 49925 (2006)
 Inventeurs : N. Sandeau, H. Giovannini, H. Rigneault
- 2- Dispositif de mesure des propriétés optiques de l'œil

Brevet CNRS/Luneau Ophtalmologie n° FR 64002 N (2002) étendu PCT
Inventeurs : P.F. Lenne, L. Escoubas, H. Rigneault, W. Lenne, H. Giovannini

VI.7. Personnel de MOSAIC

Chercheurs permanents :

Sophie Brasselet – MCF Univ Paul Cézanne (mutation septembre 2006)
Cyril Favard – IR2 (mutation Novembre 2006)
Patrick Ferrand – MCF Univ Paul Cézanne (mobilité interne avril 2005)
Pierre-François Lenne – CR1 CNRS
Serge Monneret – CR1 CNRS (mutation septembre 2003)
Hervé Rigneault – CR1 CNRS (nommé DR2 octobre 2006)
Jérôme Wenger – CR2 CNRS (recrutement octobre 2005)

VI.8. Bilan financier

Différents financements ont été obtenus dans le cadre de MOSAIC depuis sa création (2000) avec nos partenaires CIML et IBDML. Au total, il s'agit de plus de 1.5 millions d'Euros affectés à l'Institut Fresnel qui nous ont permis de mettre en place les expériences de FCS (2 expériences), SPT, CARS, Pincés Optiques Holographiques, et de financer 5 années de Post Doc.

Détail :

1. CNRS, Programme "Physique et Chimie du Vivant" AO 2000, Projet N°PCV00-012. (36 587 €) Coordinateur D. Marguet,
2. CNRS, Programme "Nano-Objet Individuel 00", Projet N°. (36 600 €) Coordinateur H. Rigneault.
3. Fondation pour la Recherche Médicale, Programme "Imagerie Cellulaire 2000", Projet N°ICP 1.17. (100 921 €) Coordinateur D. Marguet.
4. Ministère de la Recherche, ACI 2000 "Physicochimie de la matière complexe", Projet N° PC29-01. (40 024 €) Coordinateur D. Marguet.
5. Ministère de la Recherche, ACI 2001 "Jeunes Chercheurs", Projet N° PC29-01. (118 000 €) Coordinateur H. Rigneault.
6. Ministère de la Recherche, MRCT 2001 (60 979 €) Coordinateur P.F. Lenne.
7. CNRS, Programme "Dynamique et Réactivité des Assemblages Biologiques" AO 2001, Projet N°01N62/0006. (64 028 €) Coordinateur D. Marguet.
8. Ministère de la Recherche, AC 2002 "Nanosciences - Nanotechnologies", Projet N° NN078. (150 000 €) Coordinateur D. Marguet.
9. Conseil Régional PACA AO 2002, Projet N°502 429. (100 000 €) Coordinateurs H. Rigneault & D. Marguet.
10. Ministère de la Recherche, AO 2002, Subvention accueil jeunes chercheurs étrangers en séjour de recherche post-doctorale, Dossier N°412. (40 000 €)
11. Ministère de la Recherche, AC 2003 'Nanosciences', (150 000 €) Coordinateur P.F. Lenne
12. Fonds Européens de Développement Régionaux PACA 2004 (180 000 €) Coordinateur H. Rigneault
13. Dynamique et Réactivité des Assemblages Biologiques 2004 : 20 000 € Coordinateur D. Marguet
14. Fonds régionaux pour la recherche 2004 : 70 000 € Coordinateur P.-F. Lenne
15. Fonds régionaux pour la recherche 2005 : 80 000 € Coordinateur H. Rigneault
16. ANR 2005 – 05 BLAN 0337 02: Programme Blanc : 80 000 € Coordinateur D. Marguet
17. ANR 2005 – 05 NANO 035 01: Programme Nano : 100 000 € Coordinateur H. Rigneault
18. ANR 2005 – 05 BLAN 0158 02 Programme Blanc : 80 000 € Coordinateur T. Lecuit

MOSAIC a bénéficié également sur la période 2002-2006 du soutien des industriels :

ST Microélectronique, Carl Zeiss, Amplitude System, Genewave, SESO, Silios, Cis Bio International, Cézanne Immunologie, Luneau Ophtalmologie.

VI.9. Doctorants MOSAIC

Doctorants :

Emilien Etienne – Sept 2000 – Dec 2003 – thèse soutenue le 17 décembre 2003

Nicolas Sandeau – Sept 2002 – Oct 2005 – thèse soutenue le 27 octobre 2005

Nadia Djaker – Sept 2003 – Nov 2006

David Gachet – Sept 2004- Sept 2007

Martina Pianta – Sept 2006- Sept 2009

Post Doctorants :

Olivier Wurtz – Octobre 2003 – Juillet 2004

Jérôme Wenger – Octobre 2004 – Septembre 2005

Benoît Cluzel - Avril 2006-Juillet 2006-06-29

Davy Gérard - Septembre 2006-Juillet 2007

Michael Maurin - Avril 2006 – Avril 2007

Franck Billard – Septembre 2006 – Juillet 2007

VI.10. Production scientifique 2002-2006

NB : La production de l'équipe MOSAIC est disponible sur <http://hal.ccsd.cnrs.fr/MOSAIC>

VI.10.1. Publications dans des revues à comité de lecture

- [RICL1] "Confined diffusion in tubular structures analyzed by fluorescence correlation spectroscopy on a mirror", Etienne E., Lenne P.-F., Rigneault H., Sturgis J.N., Applied Optics 45 4497 (2006)
- [RICL2] "Highly flexible whole-field sectioning microscope with liquid-crystal light modulator", Monneret S., Rauzi M., Lenne P.-F., Journal of Optics A 8 S461-S466 (2006)
- [RICL3] "Increasing the lateral resolution of 4Pi fluorescence microscopes", Sandeau N., Giovannini H., Journal of the Optical Society of America A 23 1089 (2006)
- [RICL4] "Single-Fluorophore Diffusion in a Lipid Membrane over a Subwavelength Aperture", Wenger J., Rigneault H., Dintinger J., Marguet D., Lenne P.-F., Journal of Biological Physics 32 SN1-SN4 (2006)
- [RICL5] "Surface plasmon excitation on a single subwavelength hole in a metallic sheet", Bonod N., Popov E., Nevière M., Rigneault H., Lenne P.-F., Chaumet P., Applied Optics 44 2332-2337 (2005)
- [RICL6] "La microstéréolithographie et ses applications", Monneret S., Mécanique & Industrie 6 457-462 (2005)
- [RICL7] "Detection enhancement of single molecules at high concentrations in subwavelength apertures", Rigneault H., Capoulade J., Dintinger J., Wenger J., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Lenne P.-F., Physical Review Letters 95 117401 (2005)
- [RICL8] "Observation of the interferences between the emitted beams in a 4Pi microscope by partial coherence interferometry", Sandeau N., Giovannini H., Lenne P.-F., Rigneault H., Applied Physics Letters 87 181103 (2005)

- [RICL9] "Fluorescence correlation spectroscopy diffusion laws to probe the submicron cell membrane organization", Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., Lenne P.-F., Biophysical journal 89 4029 (2005)
- [RICL10] "Single molecule fluorescence in rectangular nano-apertures", Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Rigneault H., Optics Express 13 7035-7044 (2005)
- [RICL11] "Design and fabrication of optical microcavities based on F2 colour centres in lithium fluoride films", Bonfigli F., Cathelinaud M., Jacquier B., Montereali R.M., Moretti P., Nichelatti E., Piccinini M., Rigneault H., Somma F., Optics Communications 233 389 (2004)
- [RICL12] "Confined diffusion in membrane microdomains of living cell explored by fluorescence correlation spectroscopy", Lenne P.-F., Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., Biophysical journal 86 524A (2004)
- [RICL13] "Fluorescence correlation spectroscopy on a mirror to probe the diffusion of confined molecules", Lenne P.-F., Etienne E., Rigneault H., Biophysical journal 86 359A (2004)
- [RICL14] "Optical microcavities based on colour centres: new approach to activate resonator", Saoudi R., Belarouci A., Moretti P., Jacquier B., Rigneault H., Cathelinaud M., Nichelatti E., Montereali R.M., Somma F., Electronics Letters 40 1294 (2004)
- [RICL15] "Fluorescence correlation spectroscopy on a mirror", Rigneault H., Lenne P.-F., Journal of the Optical Society of America B 20 2203 (2003)
- [RICL16] "Pathways and Intermediates in Forced Unfolding of Spectrin Repeats", Altmann S.M., Grünberg R.G., Lenne P.-F., Ylänne J., Raae A., Herbert K., Saraste M., Nilges M., Hörber J.K.H., Structure 10 1085 (2002)
- [RICL17] "Detection and enhancement of the luminescence of individual biological molecules in solution", Etienne E., Lenne P.-F., Rigneault H., Journal de Physique IV Colloque 12 299 (2002)
- [RICL18] "Light emission from europium chelates located in crossed grating structures", Lemarchand F., Rigneault H., Journal of Optics A 4 S115 (2002)
- [RICL19] "Flow Profiles and directionality in Microcapillaries Measured by fluorescence correlation spectroscopy", Lenne P.-F., Colombo D., Giovannini H., Rigneault H., Single Molecules 3 194 (2002)
- [RICL20] "Subwavelength patterns and high detection efficiency in fluorescence correlation spectroscopy using photonic structures", Lenne P.-F., Etienne E., Rigneault H., Applied Physics Letters 80 4106 (2002)

VI.10.2. Conférences invitées dans des congrès

1. "Introduction aux cristaux photoniques", Ferrand P., Atelier du GdR Couleur Paris France (2006)
2. "Fluorescence Correlation Spectroscopy and the membrane organization of live cells below the optical diffraction limit", Lenne P.-F., Tek'co Formation continue Strasbourg France (2006)
3. "Practical lab tools for living cells based on microstereolithography and multiple dynamic holographic optical tweezers", Monneret S., Belloni F., Marguet D., Imaging, Manipulation and Analysis of biomolecules, Cells, and Tissues III, SPIE International Symposium BIOS 2006 États-Unis d'Amérique (2006)
4. "Photonics structures to study the sub-wavelength diffusion in bio membranes", Rigneault H., NoE Epixnet Winter school 'Optoelectronic Integration: Technology and Applications' France (2006)
5. "Microscopie vibrationnelle CARS: Instrumentation et applications", Rigneault H., Colloque IMVIE3 Imagerie pour les sciences du vivant et la médecine Paris France (2006)
6. "Le procédé de stéréolithographie", Monneret S., Sixième Rencontre Nationale des Mécaniciens du CNRS Nouan-le-Fuzelier France (2005)
7. "Photonics structures to study confined diffusions in bio-membranes", Rigneault H., Conférence générale du GDR Ondes Besancon France (2005)

8. "Nanophotonics structures for live cell analyses", Rigneault H., First France-Israel Conference on Nanobiophotonics Israël (2005)
9. "Opal-based 3D photonic crystals", Ferrand P., Summerschool Light in nanosize objects Bakou Azerbaïdjan (2004)
10. "Towards silicon-compatible 2D and 3D photonic crystals", Ferrand P., Jonnson F., Seekamp J., Soloviev V., Romanov S.G., Sotomayor Torres C.M., Ahopelto J., Egen M., Zentel R., CLEO / IQEC 2004 San Francisco États-Unis d'Amérique (2004)
11. "Functionalized photonic crystals from opals", Jonnson F., Ferrand P., Seekamp J., Romanov S.G., Sotomayor Torres C.M., Ahopelto J., Egen M., Zentel R., PECS-V Kyoto Japon (2004)
12. "Confinement moléculaire dans les membranes des cellules vivantes: apports de l'optique", Lenne P.-F., Microscopie Fonctionnelle du Vivant Oléron France (2004)
13. "Applications des lasers impulsionsnels en biologie : génération de contraste et résolution", Lenne P.-F., Rigneault H., Ecole Femto 2004 Porquerolles France (2004)
14. "Single biomolecule detection using photonic structures", Lenne P.-F., Rigneault H., Photonics Europe, 2004, Strasbourg Strasbourg France (2004)
15. "Non linear contrast in Optical Microscopy", Rigneault H., Eulasnet conference Marseille France (2004)
16. "Biophotonics with photonics structures", Rigneault H., Lenne P.-F., Photonics Europe Strasbourg France (2004)
17. "Bio-photonics : Fundamentals and applications", Rigneault H., European International Spring School 'Nanophotonics' Cargèse France (2004)
18. "Microscopie Raman Stimulée : CARS", Rigneault H., Ecole Nationale de Microscopie Fonctionnelle du vivant Oléron France (2004)
19. "Confined diffusion in bio-membranes studied by fluorescence correlation spectroscopy", Rigneault H., International workshop on fluorescence spectroscopy Dresden Allemagne (2004)
20. "Détection et exaltation de la luminescence d'objets individuels: entre la physique et la biologie", Rigneault H., Horizons de l'Optique 03, Toulouse 3-5 septembre 2003 Toulouse France (2003)
21. "Single bio-molecule detection by Fluorescence Correlation spectroscopy: Application to confined diffusion analysis in bio-membranes", Rigneault H., French-Japanese Workshop on Molecular Photonics and Biophotonics at micro and nano-scales, Awaji island, Yumebutai, Japon, 27-31 octobre 2003 Yumebutai Japon (2003)
22. "Etude des microdomaines membranaires par spectroscopie de corrélation de fluorescence", Wawrezinieck L., Lenne P.-F., Rigneault H., Marguet D., Congrès Général de la Société Française de Physique, Lyon, 7-10 July, 2003 Lyon France (2003)
23. "Fluorescence correlation spectroscopy on mirrors", Etienne E., Lenne P.-F., Rigneault H., Linz Winter Workshop of nanopores and fluorescence spectroscopy, Linz, January, 2002 Linz Autriche (2002)
24. "Flow profiling using fluorescence correlation spectroscopy", Lenne P.-F., Colombo D., Giovannini H., Rigneault H., Linz Winter Workshop of nanopores and fluorescence spectroscopy, Linz, January, 2002 Linz Autriche (2002)
25. "Single molecule enhancement using photonic structures", Rigneault H., Colloque Franco-Allemand de Physique, Single molecule physics Fondation des Treilles, 12-18 avril, 2002 France (2002)
26. "Structures photoniques pour le contrôle de l'émission spontanée: de la physique à la biologie", Rigneault H., Réunion annuelle SFP Daniel Dautreppe Développements récents en optique, Grenoble 21-25 octobre 2002 Grenoble France (2002)

VI.10.3. *Proceedings à comité de lecture*

- [PROC1] "Far-field radiation pattern in Coherent Anti-stokes Raman Scattering (CARS) Microscopy", Gachet D., Sandeau N., Rigneault H., 62 SPIE (2006)
- [PROC2] "Practical lab tool for living cells based on microstereolithography and multiple dynamic holographic optical tweezers", Monneret S., Belloni F., Marguet D., 60880Z SPIE (2006)
- [PROC3] "Vibrational Imaging by Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) Microscopy", Djaker N., Lenne P.-F., Rigneault H., 133 SPIE (2004)
- [PROC4] "Planar optical microcavities based on color centers in lithium fluoride", Nichelatti E., Bonfigli F., Jacquier B., Menchini F., Montereali R.M., Moretti P., Piccinini M., Rigneault H., Somma F., 378 F. Michelotti, A. Driessen, M. Bertolotti AIP Conf. Proc (2004)
- [PROC5] "Reducing and shaping the fluorescence detection volume for single bio-molecules analysis: the assets of nanophotonic structures", Rigneault H., Etienne E., Lenne P.-F., 92 Photonics Europe Strasbourg France SPIE (2004)
- [PROC6] "Axial localization of luminophores by partial coherence interferometry", Sandeau N., Rigneault H., Lenne P.-F., Giovannini H., 51 SPIE (2004)
- [PROC7] "Fluorescence Correlation Spectroscopy to determine diffusion laws: application to live cell membranes", Wawrezinieck L., Lenne P.-F., Marguet D., Rigneault H., 92 SPIE (2004)
- [PROC8] "Optical microcavities based on F2 color centers in lithium fluoride films: modification of spontaneous emission", Bonfigli F., Jacquier B., Montereali R., Moretti P., Nichelatti E., Piccinini M., Rigneault H., Somma F., 139 Alexis Carabelas, Giuseppe Baldacchini, Paolo Di Lazzaro, Dimitrios Zevgolis SPIE (2003)

VI.10.4. *Publications dans des revues sans comité*

1. "Nanopuits métalliques pour exalter les contrastes en microscopie optique", Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Capoulade J., Rigneault H., Dintinger J., Ebbesen T.W., Photonics 23 44-45 (2006)
2. "Microfabrication directe de pièces céramiques tridimensionnelles de formes complexes", Monneret S., Techniques de l'Ingénieur RE 13 1-11 (2004)

VI.10.5. *Communications à des congrès, symposium*

1. "Fluorescence Correlation Spectroscopy to probe molecular confinement in live cell membranes", Lenne P.-F., Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., BIOS 06, Photonics West San Jose États-Unis d'Amérique (2006)
2. "Refractive effect in Coherent Anti-Stokes Raman Scattering microscopy", Rigneault H., Djaker N., Sandeau N., Gachet D., BIOS 06, Photonics West San Jose États-Unis d'Amérique (2006)
3. "Single molecule detection enhancement in subwavelength apertures", Rigneault H., Wenger J., Lenne P.-F., Popov E., Dintinger J., Ebbesen T.W., BIOS 06, Photonics West San Jose États-Unis d'Amérique (2006)
4. "Fluorescence correlation spectroscopy in a sub-wavelength aperture", Rigneault H., Wenger J., Lenne P.-F., Cluzel B., Dintinger J., Popov E., Bonod N., Ebbesen T.W., EOS Topical meeting on Molecular Plasmonics Engelberg Suisse (2006)
5. "Nanopuits pour l'étude de la diffusion membranaire à haute résolution spatiale", Wenger J., Conchonaud F., Dintinger J., Wawrezinieck L., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Marguet D., Rigneault H., Lenne P.-F., réunion commune transverse GT2-GT5 du GdR Ondes Gif sur Yvette France (2006)
6. "Enhanced Raman Scattering in a 10 Attoliter Nanohole", Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Popov E., Lenne P.-F., Ebbesen T.W., Rigneault H., Nanophotonics OSA topical meeting Uncasville États-Unis d'Amérique (2006)

7. "Pinces optiques holographiques pour le contrôle tridimensionnel et dynamique de contacts sur des membranes biologiques", Belloni F., Monneret S., Marguet D., Horizons de l'Optique Chambéry France (2005)
8. "Multiplane dynamic holographic optical tweezers for cell membranes studies", Belloni F., Monneret S., Marguet D., European Optical Society topical meeting "Optical Microsystems" Capri Italie (2005)
9. "Refractive effects in Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) Microscopy", Djaker N., Lenne P.-F., Rigneault H., Focus On Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)
10. "Effets Réfractifs en Microscopie par diffusion Cohérente Raman (CARS)", Djaker N., Gachet D., Sandeau N., Lenne P.-F., Rigneault H., Horizons de l'Optique 2005 Chambéry France (2005)
11. "The submicroscopic organisation of live cell membranes viewed as a source of molecular confinement", Lenne P.-F., Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., 15th IUPAB & 5th EBSA International Biophysics Congress Montpellier France (2005)
12. "Dynamic molecular confinement in live cell membranes", Lenne P.-F., Wawrezinieck L., Marguet D., Rigneault H., IOP 2005 Warwick Royaume-Uni (2005)
13. "Highly flexible whole-field sectioning microscope with liquid-crystal light modulator", Rauzi M., Lenne P.-F., Monneret S., European Optical Society topical meeting "Optical Microsystems" Capri Italie (2005)
14. "Microscopie CARS", Rigneault H., , Journée Scientifique et Technique du GDR Microscopie Fonctionnelle France (2005)
15. "Image Formation in Coherent Anti-Stokes Raman Scattering Microscopy", Rigneault H., Djaker N., Gachet D., Sandeau N., Giovannini H., Lenne P.-F., IOP 2005 Warwick Royaume-Uni (2005)
16. "Diagrammes de rayonnement en microscopie CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering)", Sandeau N., Gachet D., Lenne P.-F., Giovannini H., Rigneault H., Horizons de l'Optique 2005 Chambéry France (2005)
17. "Super-résolution en 4 π -microscopie confocale à fluorescence", Sandeau N., Giovannini H., Horizons de l'Optique 2005 Chambéry France (2005)
18. "Radiation pattern and image formation in coherent anti-stokes Raman scattering microscopy", Sandeau N., Gachet D., Lenne P.-F., Rigneault H., Giovannini H., Focus On Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)
19. "Axial localisation of luminophores in a modified 4Pi-microscope with partial coherence interferometry", Sandeau N., Rigneault H., Lenne P.-F., Giovannini H., Focus On Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)
20. "Fluorescence Correlation Spectroscopy to probe molecular confinement in live cell membranes", Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., Lenne P.-F., Focus on Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)
21. "Enhancement of single molecule fluorescence detection in subwavelength apertures", Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Popov E., Ebbesen T.W., Lenne P.-F., Rigneault H., COLOQ 9 Dijon France (2005)
22. "Single molecule detection in nano-apertures", Wenger J., Dintinger J., Bonod N., Lenne P.-F., Popov E., Ebbesen T.W., Rigneault H., Focus On Microscopy 2005 Jena Allemagne (2005)
23. "Enhancement of Single Molecule Fluorescence Detection in Subwavelength Apertures", Wenger J., Lenne P.-F., Capoulade J., Bonod N., Popov E., Dintinger J., Ebbesen T.W., Rigneault H., IOP 2005 Warwick Royaume-Uni (2005)
24. "Fluorescence correlation spectroscopy on a mirror to probe the diffusion of confined molecules", Lenne P.-F., Etienne E., Rigneault H., Biophysical Society Annual Meeting 48th, February 14-18 2004, Baltimore (USA) Baltimore États-Unis d'Amérique (2004)

25. "Confined diffusion in membrane microdomains of living cells explored by fluorescence correlation spectroscopy", Lenne P.-F., Wawrezinieck L., Rigneault H., Marguet D., Biophysical Society Annual Meeting 48th, February 14-18 2004, Baltimore (USA) Baltimore États-Unis d'Amérique (2004)
26. "La microstéréolithographie au service du "packaging" de prototypes", Monneret S., Journée thématique PopSud "Microsystèmes à cœur optique" Marseille France (2004)
27. "Spectroscopie Multiphotonique", Rigneault H., Journée thématique 'Laser de Pointe' Marseille France (2004)
28. "Dynamique membranaire du récepteur de l'EGF couplé à des nano-cristaux suivi par fluorescence de molécule unique", Sergé A., Maugis B., Rigneault H., Marguet D., Groupement de recherche Microscopie Fonctionnelle Oléron France (2004)
29. "Molecular confinement in membrane microdomains probed by Fluorescence Correlation Spectroscopy : Simulations and Experiments", Wawrezinieck L., Lenne P.-F., Marguet D., Rigneault H., Biophysical Society Topical Meeting Assilomar États-Unis d'Amérique (2004)
30. "Comparative analysis of the membrane leaflet dynamics in living cells by Fluorescence Correlation Spectroscopy", Wurtz O., Wawrezinieck L., Lenne P.-F., Boned A., Kloog Y., Henis Y., Rigneault H., Marguet D., Biophysical Society Topical Meeting Assilomar États-Unis d'Amérique (2004)
31. "Détection optique du confinement de molécules individuelles dans les cellules vivante", Lenne P.-F., Opto 2003 Paris France (2003)
32. "Structures photoniques, fluctuations de fluorescence et confinement membranaire", Lenne P.-F., Marguet D., Rigneault H., Biophotonique, Opto 2003, 21-23 octobre 2003, Paris Paris France (2003)
33. "Single bio-molecule detection enhancement using photonic structures", Lenne P.-F., Rigneault H., Nanobiotechnologies II, 23-24 avril 03, Grenoble Grenoble France (2003)
34. "Nouvelle methode de fabrication de micro-cavité optique à base de centres colorés créés par implantation ionique dans du LiF", Orucevic F., Saoudi R., Belarouci A., Moetti P., Jacquier B., Rigneault H., Cathelinaud M., Journées Nationales d'Optique Guidée Valence France (2003)
35. "Single molecule detection enhancement using photonics structures", Rigneault H., Lenne P.-F., FRISNO7 Les Houches France (2003)
36. "Micro et nanostructures optiques pour la biologie", Rigneault H., Lenne P.-F., GDR Imagerie Fonctionnelle Paris France (2003)
37. "Détection et exaltation de la luminescence de molécules biologiques individuelles en solution", Etienne E., Lenne P.-F., Rigneault H., Journées de la Matière Condensée 8 Marseille France (2002)
38. "Confined diffusion in cell membranes explored by fluorescence correlation spectroscopy", Lenne P.-F., Marguet D., Rigneault H., 3rd EMBL PhD Student Symposium : Life within Boundaries - Membranes & Compartments in Biology Heidelberg Allemagne (2002)
39. "Analyse de la diffusion membranaire par détection optique de molécules individuelles", Lenne P.-F., Marguet D., Rigneault H., Journées de la Matière Condensée 8 Marseille France (2002)
40. "Profils de vitesse et direction d'écoulement dans des microcanaux par détection optique de molécules individuelles", Lenne P.-F., Colombo D., Giovannini H., Rigneault H., Journées de la Matière Condensée 8 Marseille France (2002)
41. "Fluorescence enhancement using corrugated surfaces", Rigneault H., Lemarchand F., Linz Winter Workshop of nanopores and fluorescence spectroscopy, Linz, January, 2002 Linz Autriche (2002)

VI.10.6. Séminaires, workshops

1. "Microscopie vibrationnelle CARS : imager le vivant sans marqueur.", Gachet D., Djaker N., Sandeau N., Rigneault H., GDR ISIS B 2006 Paris France (2006)

2. "Sub-wavelength diffusion in Biomembranes", Rigneault H., Séminaire du Laboratoire de Physique de l'ESPCI Paris France (2006)
3. "Microscopie ultra-sensible pour l'analyse cellulaire et tissulaire", Rigneault H., séminaire invité au Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique Théorique et Appliquée Orsay France (2006)
4. "Microscopie FCS et CARS", Rigneault H., séminaire invité du Laboratoire de Photophysique Moléculaire Orsay France (2006)
5. "Confined diffusion studied by Fluorescence Correlation Spectroscopy", Rigneault H., Séminaire Général du Laboratoire Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique Palaiseau France (2005)
6. "Photonics structures to study confined diffusions in bio-membranes", Rigneault H., Séminaire Général du Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN) Marcoussis France (2005)
7. "Confined diffusion in live cell membranes", Lenne P.-F., Deustches-Französiches Seminar Saarbrück Allemagne (2004)
8. "Des fluctuations de fluorescence à l'organisation des membranes cellulaires", Lenne P.-F., Ecole prédoctorale de Physique des Houches, 'Optique et Biologie' Les Houches France (2004)
9. "Confinement moléculaire dans les membranes des cellules vivantes: apports de l'optique", Lenne P.-F., Ecole Microscopie Fonctionnelle du Vivant Oléron France (2004)
10. "Confined diffusion studied by Fluorescence Correlation Spectroscopy", Rigneault H., Conférencier invité au Laboratoire AMOLF (Atomic and Molecular Physics) Amsterdam France (2004)
11. "Microscopie Raman Stimulée : CARS", Rigneault H., Ecole Nationale de Microscopie Fonctionnelle du vivant Oléron France (2004)
12. "Coherent Anti-stokes Raman Scattering Microscopy : An Ultrasensitive Technique without Fluorophores", Djaker N., Lenne P.-F., Rigneault H., Japan-France Conference on Molecular Photonics and Biophotonics at Micro and Nano-scale (JFC2003) Hyogo Japon (2003)
13. "Microscopie ultra-sensible : de la Physique à la Biologie", Rigneault H., séminaire donnée à l'Université de Troyes Troyes France (2003)

VI.10.7. Chapitres dans les ouvrages

1. "Application des lasers impulsionsnels en biologie : génération de contrastes et résolution", Lenne P.-F., Rigneault H., xxx M. Sentis, O. Uteza Publications de l'Univ. de St. Etienne (2005)
2. "Nanobiophotonique", Rigneault H., Lenne P.-F., xxx H. Rigneault, J. M. Lourtioz, C. Delalande et A. Levenson Hermes Lavoisier (2005)
3. "Optical thin films for spontaneous emission control", Rigneault H., 455 N. Kaiser, H.K. Pulker Springer-Verlag (2003)

VI.10.8. Livres et ouvrages

1. "Nanophotonics", Rigneault H., Lourtioz J.-M., Delalande C., Levenson A., 324 p., ISTE (2006)
2. "La nanophotonique", Rigneault H., Lourtioz J.-M., Delalande C., Levenson A., 339 p., Hermes Lavoisier (2005)

VI.10.9. Brevets

1. "Microscope Confocal interférométrique", Sandeau N., Giovannini H., Rigneault H., Brevet CNRS n° FR 49925 (2006)
2. "Dispositif de mesure des propriétés optiques de l'oeil", Lenne P.-F., Escoubas L., Rigneault H., Lenne W., Giovannini H., France FR64002N 2002-03-20

VI.10.10. Autres

1. "Etude de la luminescence de filtres dichroïques", Rigneault H., Rapport Cézanne (2002)

VII - *EQUIPE SEMO, RAPPORT SCIENTIFIQUE*

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
SEMO	4,75	44	433

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	SEMO %	Date d'arrivée dans l'équipe
CHAUMET Patrick	U3 / IUT	Ens-chercheur	0,5	sept-00
LITMAN Amélie	U1	Ens-chercheur	1	oct-02
SORIANO Gabriel	U3	Ens-chercheur	1	sept-01
GIOVANNINI Hugues	U3 / IUT	Ens-chercheur	1	oct-91
NICOLET André	U3	Ens-chercheur	0,5	janv-00
FORESTIER Frédéric	U3	ITA-IATOS	0,5	sept-00
VINCENT Patrick	U3	Ens-chercheur	0,5	janv-76
SABOUROUX Pierre	U1	Ens-chercheur	1	janv-96
SENTENAC Anne	CNRS	Chercheur	0,5	nov-97
TORTEL Hervé	U1	Ens-chercheur	1	sept-96
BELKEBIR Kamal	U1	Ens-chercheur	1	sept-97
GUERIN Charles-Antoine	U3	Ens-chercheur	1	sept-99
HUGOUNENC Roland	U1	ITA-IATOS	0,8	sept-96
GEFFRIN Jean-Michel	CNRS	ITA-IATOS	0,5	oct-02
Total servant au calcul de la répartition des crédits			10,8	

SEMO : Effectifs au 01/11/06

VII.1. Introduction

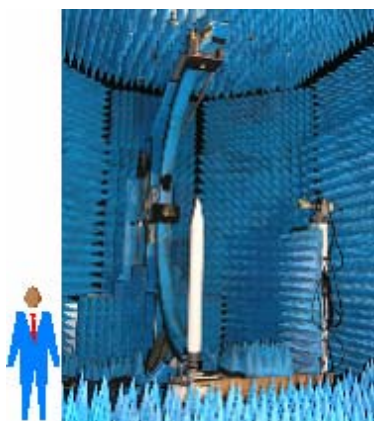
Le cadre général des activités de recherche de l'équipe SEMO est la caractérisation de milieux complexes à partir de leur signature électromagnétique. Pour cela, nous développons des méthodes numériques permettant de simuler l'interaction d'une onde avec la structure (problème direct), des algorithmes d'inversion pour remonter aux caractéristiques de l'objet à partir du champ diffracté (problème inverse) et des systèmes expérimentaux permettant de corroborer les principes décrits par la théorie.

On peut distinguer trois grandes applications dans notre travail : l'imagerie et l'expérimentation micro-onde, l'imagerie optique haute résolution et la télédétection en milieu aléatoire. Les mêmes outils théoriques peuvent servir à différentes applications, ce qui fait que certains développements dans le domaine des radiofréquences se recoupent avec ceux du domaine optique. A titre d'exemple, la tomographie par diffraction, bien connue en imagerie microondes a été, au sein de l'équipe SEMO, adaptée à la microscopie optique. Les compétences des chercheurs de l'équipe SEMO permettent d'aborder des sujets à la fois théoriques et expérimentaux.

VII.2. Imagerie et expérimentation microondes

VII.2.1. *Diffraction en configuration sphérique : développements expérimentaux et théoriques*

Description de la chambre anéchoïque



Base de mesures en configuration sphérique multi-statique dans la chambre anéchoïque

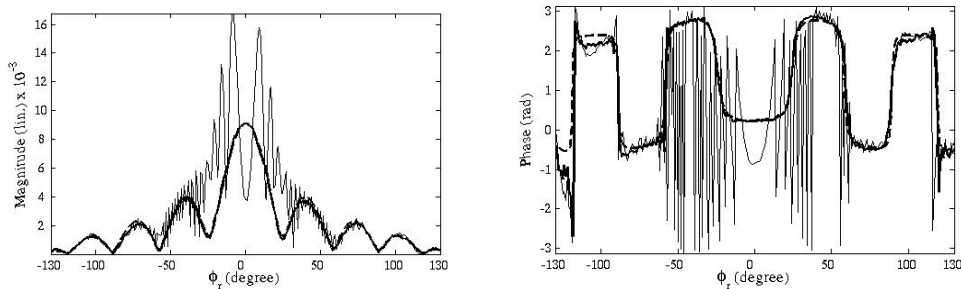
Nous avons développé, il y a maintenant quelques années, un outil expérimental permettant de mesurer le champ diffracté par un objet en configuration complète (l'émetteur et le récepteur se déplacent sur une sphère entourant l'objet). Cette structure est comprise dans une chambre anéchoïque de 14mx6mx6m. La géométrie de cette configuration complète est sphérique de 2 m de rayon. Les antennes d'émission et de réception, qui sont des cornets large bande (ARA DRG118), peuvent se déplacer soit sur une arche circulaire verticale, soit dans un plan horizontal autour d'un axe central. L'objet peut également subir une rotation autour d'un axe vertical. Les antennes sont connectées à un analyseur de réseau vectoriel (HP 8510B). La gamme de fréquences accessible va de 1 à 26 GHz et il est possible d'effectuer des mesures pour les différents cas de polarisation.

Caractérisation et analyse des erreurs de mesures

Le fonctionnement du système a été validé dans un premier temps par des mesures de champs rétrodiffusés [36]. Un effort important a été fourni ces trois dernières années pour mieux caractériser la métrologie du système (thèse C. Eyraud). Ainsi, une étude approfondie des différentes origines du bruit a permis d'obtenir des mesures extrêmement précises de la phase et de l'amplitude du champ diffracté. Ceci a été validé par des comparaisons avec des simulations. Il est important de remarquer que le champ diffracté, qui est la grandeur recherchée, n'est pas mesuré directement mais obtenu par la différence vectorielle des champs mesurés. De plus, l'écart entre le champ mesuré et le champ diffracté peut atteindre plus de 15 dB en amplitude. Il est donc essentiel de garantir une extrême précision lors des mesures.

Nous avons ainsi mis en évidence des erreurs systématiques et nous avons proposé une nouvelle méthode pour prendre en compte les erreurs de dérives qui sont dues à un temps de mesure important

(plusieurs heures). Cette correction de dérive est basée sur un résultat théorique qui montre que le champ diffracté est à bande limitée dans le domaine spectral angulaire. Cette dérive peut s'exprimer sous la forme d'un coefficient complexe dont il est possible de déterminer les paramètres en minimisant la largeur de bande du champ diffracté.



Effet de la correction de dérive sur l'amplitude (à gauche) et la phase (à droite) du champ diffracté, à 11 GHz pour une sphère diélectrique de 50mm de diamètre ($\epsilon_r = 2.5$). (Trait fin) sans la correction, (Trait épais) avec la correction, (Pointillé) simulé par série de Mie.

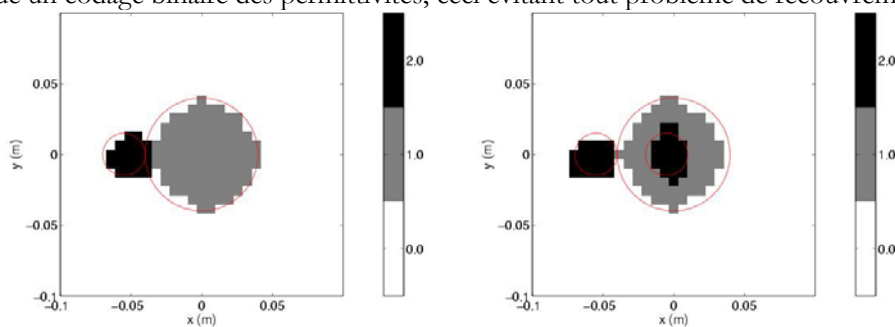
Finalement, à partir de mesures de répétabilité, nous avons montré que le bruit de mesure restant est un bruit aléatoire additif et gaussien sur le champ diffracté. Cette connaissance du bruit est essentielle à la fois pour valider la mesure et pour affiner les algorithmes d'imagerie que nous utilisons pour caractériser les objets à partir de leur signature électromagnétique.

Imagerie et base de données

Nous avons constitué une base de données expérimentales issue de la mesure de champs diffractés par des cibles bi-dimensionnelles. Les données de cette base a été utilisées dans deux sessions spéciales de « Inverse Problems » (décembre 2001 et décembre 2005 [8,14]) pour tester et valider les algorithmes d'inversion d'équipes de théoriciens du monde entier. A partir de la première base de données et en collaboration avec le SATIE (UMR 8029), nous avons proposé une approche basée sur la technique du gradient modifié couplé à des régularisations favorisant les discontinuités fortes sur les permittivités [30,79].

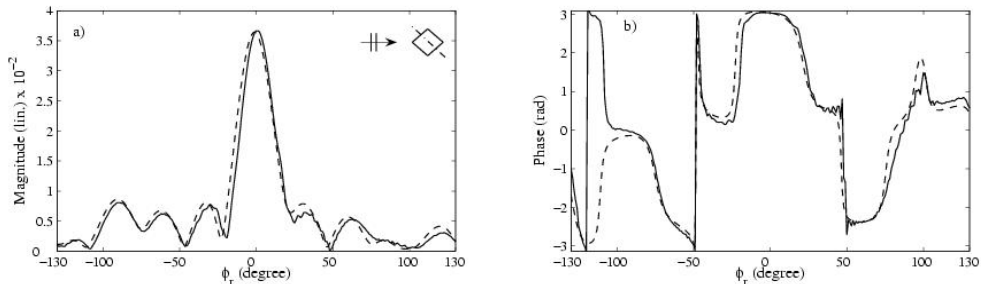
La deuxième session [8] a bénéficié de 10 contributions (~30 intervenants) venant de la communauté internationale des problèmes inverses. Au sein de l'équipe, nous avons également participé à ces travaux, notamment sous la forme de deux contributions. La première [11] porte sur la comparaison de trois méthodes de régularisation ainsi que sur le choix optimal des différentes fréquences. En particulier, nous avons proposé une fonction coût pondérée en fonction des fréquences qui améliore sensiblement les résultats.

La deuxième contribution [9] est une extension du formalisme des fonctions de niveaux pour représenter des objets à permittivité constante par morceaux. Deux approches sont envisagées, soit en utilisant une seule fonction de niveau, soit en combinant plusieurs d'entre elles associées à chaque bit qui intervient lorsqu'on effectue un codage binaire des permittivités, ceci évitant tout problème de recouvrement.



Images obtenues à 2 GHz pour les objets diélectriques constitués de cylindres de mousse et de plastique (FoamDielExt à gauche et FoamTwinDiel à droite), obtenues avec un formalisme basé sur plusieurs fonctions de niveaux.

Actuellement, une nouvelle base de données obtenue à partir d'objets tri-dimensionnels diélectriques ou métalliques, en régime continu et/ou régime temporel, est en cours de constitution. Des comparaisons exhaustives entre simulation et expérience pour différents objets tridimensionnels (cube, sphère, cylindre) et de différentes permittivités (diélectrique, métal) ont donné des résultats très satisfaisants, nous rendant confiant pour la constitution de cette nouvelle base de données.



Comparaisons de l'amplitude (a) et de la phase (b) du champ diffracté mesuré (trait plein) et simulé (trait pointillé) obtenu à 8 GHz, pour un cylindre diélectrique en Ertalon ($\epsilon_r = 3.05$) de longueur et diamètre de 80 mm.

Par ailleurs, nous avons développé différents algorithmes de reconstruction 3D qu'il sera utile de tester sur ces mesures. Parmi ces algorithmes, nous pouvons citer une méthode de localisation de sphères, basée sur une modélisation par série de Mie, avec une première étape de localisation par une approche basse-fréquence suivie d'une étape de recherche de la sphère optimale [39]. Ce travail s'est poursuivi pour des objets parfaitement conducteurs, utilisant cette fois-ci une modélisation par intégrale de surface, et une optimisation des paramètres du développement en Fourier-Legendre qui servent à représenter la surface [21]. Pour des objets qui ne sont ni parfaitement conducteurs, ni sphériques, une autre approche est actuellement testée, avec une modélisation utilisant la méthode des dipôles couplés et un algorithme d'inversion de type gradient [6].

Collaborations industrielles et académiques

Les mesures dans la chambre anéchoïque sont utilisées également dans le cadre de contrats industriels avec la SAGEM, Alcatel et la société Hyper Technologies pour étudier expérimentalement la signature radar de cibles ou caractériser des antennes de nouvelle génération. Par ailleurs, des diagrammes d'émission d'antennes particulières sont mesurés en relation avec l'équipe CLARTE du laboratoire.



Modèle macroscopique de suie constitué par un agrégat de 27 sphères diélectriques de 15 mm de diamètre chacune.

Une collaboration avec le Centre Thermique de Lyon (CETHIL-UMR5008) nous a conduits à effectuer la première phase d'une étude de faisabilité sur la caractérisation d'un modèle macroscopique de particules de suie en utilisant un rapport d'échelle. Ce travail commun entre dans le cadre d'un projet national : le projet CAPAS (CARactérisation des PARTICules de Suie dans les moteurs aéronautiques. Quatrième Appel à propositions "Supersonique" en 2003, Domaine 4 - Combustion et Environnement). Il s'agit de caractériser le plus finement possible des particules de suie générées par la combustion du kérosène dans les moteurs d'avions pour tenter de comprendre leur formation dans le but ultime de réduire l'émission de ces suies et limiter ainsi la pollution des zones aéroportuaires. Ce travail est soutenu par une ANR « blanche » portée par le PC2A (UMR 8522, Lille). Une telle étude pourrait répondre par ailleurs à des interrogations sur les poussières interstellaires.

Développement d'un outil de mesure de constantes électromagnétiques: *EpsiMu*



Prototype du kit de mesures *EpsiMu*

La connaissance précise des propriétés électromagnétiques des matériaux est, dans l'équipe, primordiale pour mener correctement des campagnes expérimentales sur des objets diélectriques (maquettes d'étude). Durant ces quatre dernières années, nous avons développé une technique de mesures avec pour objectif de posséder un outil simple et fiable [17,18]. Les résultats obtenus sont tels que, d'une part une Enveloppe Soleau a été déposée en 2004 auprès de l'INPI, et d'autre part une opération de transfert technologique est en cours en collaboration avec l'ISL (Institut Franco-Allemand de Saint Louis (département du Haut Rhin). Enfin, ce projet a été soutenu par Oséo-ANVAR dans le cadre d'une Aide aux Jeunes. Le prototype de ce nouvel outil est présenté sous forme de kit de mesures et se nomme *EpsiMu*. Ce nouvel outil de mesure permet d'effectuer extrêmement simplement des mesures de toutes les caractéristiques (ϵ' , ϵ'' , μ' , μ'') simultanément en temps réel avec une précision de 5 à 10% selon les pertes. Notons que cet outil a servi à confirmer les valeurs des permittivités obtenues à partir des mesures en chambre anéchoïque.

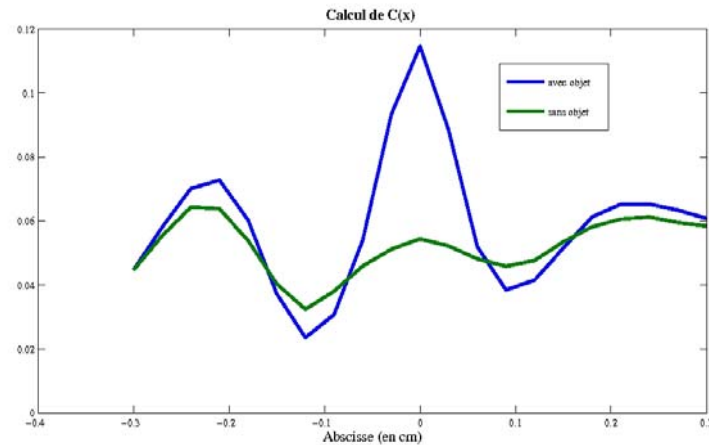
VII.2.2. Détection et caractérisation d'objets enfouis

VII.2.2.1. Développements théoriques

Ce travail est une contribution au développement de systèmes de sondage micro-onde du sous-sol. L'objectif est de détecter et de caractériser des cibles, comme des canalisations, des mines anti-personnel ou tout autre objet enfoui, à partir de la mesure du champ électromagnétique, effectuée à l'aide d'un couple d'antennes émettrices-réceptrices se déplaçant indépendamment et avec une grande précision au-dessus de la surface du sol. Deux thèses ont été menées sur ces sujets théoriques (A. Dubois et O. Cmielewski).

- Lorsque l'objet est profondément enfoui, il est possible de distinguer sa signature électromagnétique de celle du milieu environnant en analysant l'évolution au cours du temps de la réponse à une impulsion électromagnétique. Nous avons développé une méthode de simulation de l'interaction d'une impulsion avec un milieu stratifié contenant un objet en faisant de la synthèse de fréquence. Nous avons aussi mis au point un algorithme d'inversion permettant de caractériser ce milieu en utilisant toutes les fréquences dans une fonction coût pondérée par une fenêtre fréquentielle glissante, la fréquence centrale étant choisie par la technique du « frequency-hopping ». Une étude préliminaire a été effectuée en utilisant des mesures recueillies dans la chambre anéchoïque du laboratoire [1].
- Nous nous sommes intéressés à la réduction du fouillis de volume dans la caractérisation d'objets enfouis sous une interface plane. Un bon moyen d'augmenter le rapport signal/bruit dans ce cas consiste à utiliser un champ incident illuminant de manière préférentielle la zone où se situe l'objet plutôt que la totalité du domaine d'investigation. Pour ce faire, la méthode de Décomposition de l'Opérateur de Retournement Temporel (DORT) a été utilisée. Cette méthode permet, à partir du champ diffracté mesuré, de synthétiser une onde focalisée sur les objets les plus échoïques. Cette information supplémentaire est incorporée dans l'algorithme d'optimisation par la modification de la fonction coût à optimiser grâce à un terme de pénalisation additif ou multiplicatif qui utilise cette onde focalisée [20]. Des résultats numériques ont montré une amélioration de la reconstruction d'autant plus que le bruit de structure est important. Ce travail va se poursuivre dans le cadre d'une collaboration avec le LSEET (UMR 6017, Toulon) et le LEAT (UMR 6071, Nice). Une des perspectives dans ce domaine est de réaliser un radar à retournement temporel utilisant nos avancées théoriques.

- Nous avons étudié, grâce à un soutien de la DGA, des techniques de détection d'objets faiblement enfouis sous une surface rugueuse. Un développement analytique basse fréquence 2D de l'ensemble des contributions au champ diffracté (objet, interface, rugosité) nous a permis de mettre au point un type particulier de corrélation du champ diffracté qui s'apparente à une transformation de Wigner-Ville. L'efficacité de la méthode a pu être testée, via des codes numériques rigoureux, vis à vis d'un certain nombre de paramètres (fréquence, polarisation ...) et a mis en évidence un gain significatif en terme de détection d'objet par rapport à un traitement SAR classique des données.



Fonction de corrélation obtenue à 800 MHz montrant la présence d'un objet enfoui dans le sol sous une surface rugueuse à profil Gaussien.

- Une fois l'objet localisé, sa caractérisation sous l'interface rugueuse a été effectuée de deux manières différentes. Dans une première approche, l'interface est supposée plane et la grandeur optimisée au cours du processus itératif est la différence en norme entre la valeur de la fonction de Wigner-Ville calculée à partir des mesures du champ diffracté et celle donnée par l'estimation. Cette approche semble être plus robuste que les approches classiques basées uniquement sur une minimisation d'une norme quadratique sur le champ diffracté. Une seconde méthode est actuellement développée avec une estimation directe du profil de rugosité de la surface. Cette information supplémentaire est ensuite incorporée dans un algorithme itératif d'inversion de type level-set. Des améliorations significatives de la qualité de la reconstruction sont observées dans ce cas. Cette étude a fait également apparaître des instabilités sur les fronts des fonctions de niveaux et il sera intéressant dans un futur proche d'associer les techniques de régularisation développées par l'équipe PhyTi du laboratoire.

VII.2.2.2. Développements expérimentaux

VII.2.2.2.1. Objets enfouis

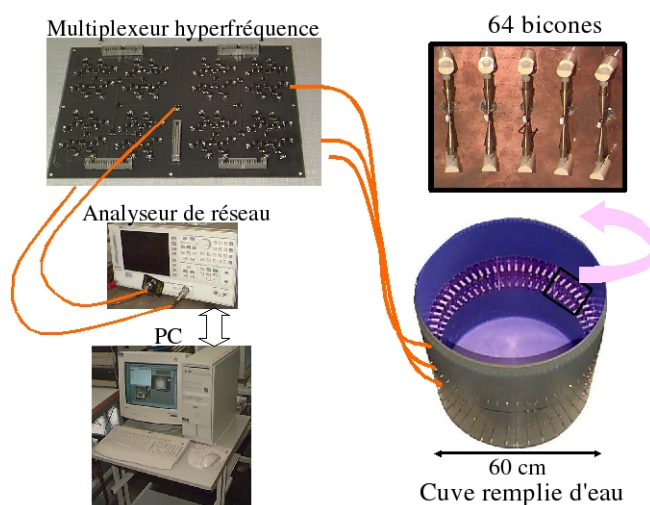
La caractérisation d'objets enfouis fait partie de la thématique du Programme d'Action Intégré Tournesol établi entre l'Institut Fresnel et l'équipe flamande INTEC de l'Université de Gand pour les années 2004 et 2005 et qui s'intitule « Techniques microondes de caractérisations d'objets enfouis. Application à l'évaluation non destructive du béton armé et à la détection de canalisations ». Des mesures de diffraction ont été effectuées en Belgique sur des dalles rugueuses ou non, avec ou sans tiges enfouies. Ces mesures sont en cours d'exploitation. Comme la chambre anéchoïque dont dispose l'Institut Fresnel est uniquement utilisable pour des configurations sphériques en espace libre, nous développons, grâce au soutien des trois tutelles du laboratoire et des collectivités locales et territoriales, un nouveau système de mesure polyvalent utilisant une

géométrie plane. Celui-ci sera constitué d'une chambre anéchoïque de 2.5mx2.5m, de positionneurs d'antennes pour une exploration dans un plan horizontal, et d'un analyseur de réseaux fonctionnant jusqu'à 40 GHz.

Il sera possible de positionner, avec ce scanner plan, un couple d'antennes mobiles au-dessus d'un bac rempli de sable ou de terre ou de tout autre milieu homogène ou hétérogène dans lequel seront enfouis les objets à caractériser. Cette nouvelle structure a un large spectre d'applications: mesures d'antennes en champ proche, caractérisation de profil rugueux de surface, détection d'objets enfouis... Une des premières applications envisagées est d'ailleurs de mesurer l'évolution de la teneur en eau du sous-sol, et qui rentre dans le cadre du projet décrit ci-dessous.

VII.2.2.2.2. Ecoulement de l'eau dans les sols

Cette activité de recherche, débutée en 2005, a pour but de démontrer les potentialités d'une imagerie micro-onde non destructive pour visualiser l'évolution de l'humidité du sous-sol. Ce projet, intitulé CESAR (Contrôle radiofréquence de l'Ecoulement de l'eau dans le Sol et de l'Absorption Racinaire), qui doit s'étaler sur trois ans, a reçu un financement de 133 keuros par l'ANR fin 2006. Le but à terme est de mieux comprendre les phénomènes de transferts hydriques et d'absorption de l'eau par les plantes. Ceci doit permettre d'optimiser l'irrigation et préserver les ressources en eau. Ce projet est le fruit d'une collaboration pluridisciplinaire entre l'Institut Fresnel, l'INRA d'Avignon, l'Université de Gand en Belgique et le CEREGE (UMR 6635). Un nouveau Projet d'Action Intégré Tournesol a par ailleurs été déposé pour l'année 2007 avec l'Université de Gand et qui s'intitule : « Etude expérimentale et théorique de l'imagerie 3D par diffraction. Application au contrôle microonde de l'eau dans le sol ». Ces projets sont en deux parties, l'une expérimentale et l'autre théorique (thèse R. Lencrerot).

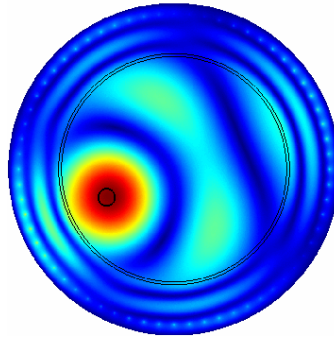


Scanner microonde

Au niveau expérimental, nous nous appuyons sur un prototype de scanner microonde à configuration cylindrique. Cet appareil, travaillant à 434 Mhz, a été développé initialement au L2S (UMR 8506) pour des applications médicales. Il est constitué de 64 antennes, travaillant en émission et réception, positionnées sur un cercle à l'intérieur d'un cylindre métallique. Il peut mesurer en une minute le champ diffracté par un objet situé au milieu. Cette configuration est particulièrement adaptée pour une analyse de l'écoulement de l'eau dans une colonne de terre reconstituée. Ce prototype est en cours d'adaptation pour l'application visée. Une collaboration avec les Universités de Naples et de Reggio Calabria (IREA) en Italie démarre pour une optimisation de la configuration de mesures (nombre d'antennes, niveau de bruit, ...). Cette configuration bi-

dimensionnelle, servira d'étude préalable à des expériences plus réalistes utilisant le scanner plan qui est, comme nous l'avons déjà signalé, en cours de montage.

Au niveau théorique, des développements sont en cours pour dans un premier temps modéliser les phénomènes de propagation à l'intérieur de la cavité cylindrique. Nous nous appuyons sur des codes basés sur la méthode des moments et sur les éléments finis 2D, donnant des comparaisons tout à fait acceptables. Une première inversion rapide de type DORT a été mise en œuvre dont les résultats doivent être affinés.



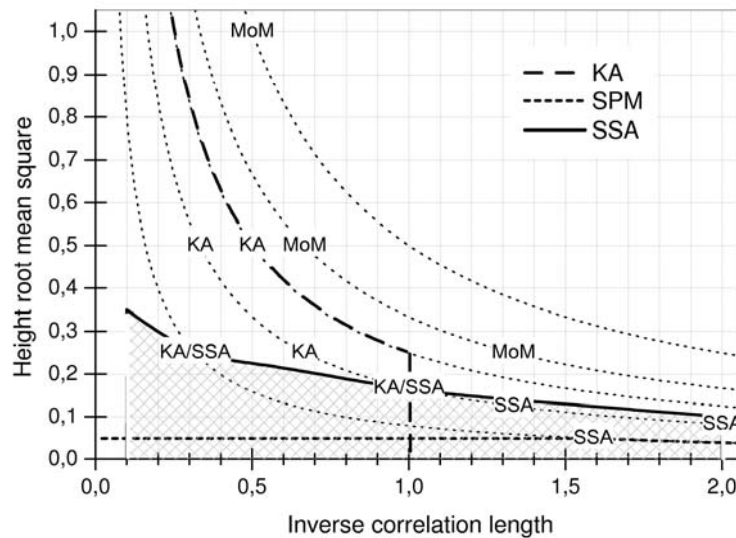
Inversion par méthode DORT d'une colonne mouillée ($\epsilon_r=20+1j$) dans une colonne de terre sèche ($\epsilon_r=5+1j$).

VII.3. Télédétection en milieu aléatoire

La plus grande partie de cette activité depuis 2002 porte sur la diffraction des ondes électromagnétiques par les surfaces rugueuses et sur le développement et la validation de méthodes rigoureuses et approchées pour le problème direct. Ces études sont faites dans le cadre de la télédétection micro-onde des surfaces naturelles, typiquement les sols et la surface de la mer.

Un important travail bibliographique sur les méthodes approchées a été réalisé [25]. Il en ressort que, malgré le nombre impressionnant de méthodes publiées, le sujet n'est pas clos. Tout d'abord, le domaine de validité de ces méthodes est généralement peu connu. Ensuite, beaucoup de méthodes ont été développées dans un cadre restreint : suivant une théorie scalaire, ou dans le cas d'un métal infiniment conducteur. Enfin, certains modèles, très prometteurs sur le papier, requièrent le calcul d'intégrales multiples de fonctions rapidement oscillantes. En pratique, de telles méthodes ne sont pas adoptées par les communautés de la géophysique et de la télédétection, auxquelles elles sont pourtant destinées.

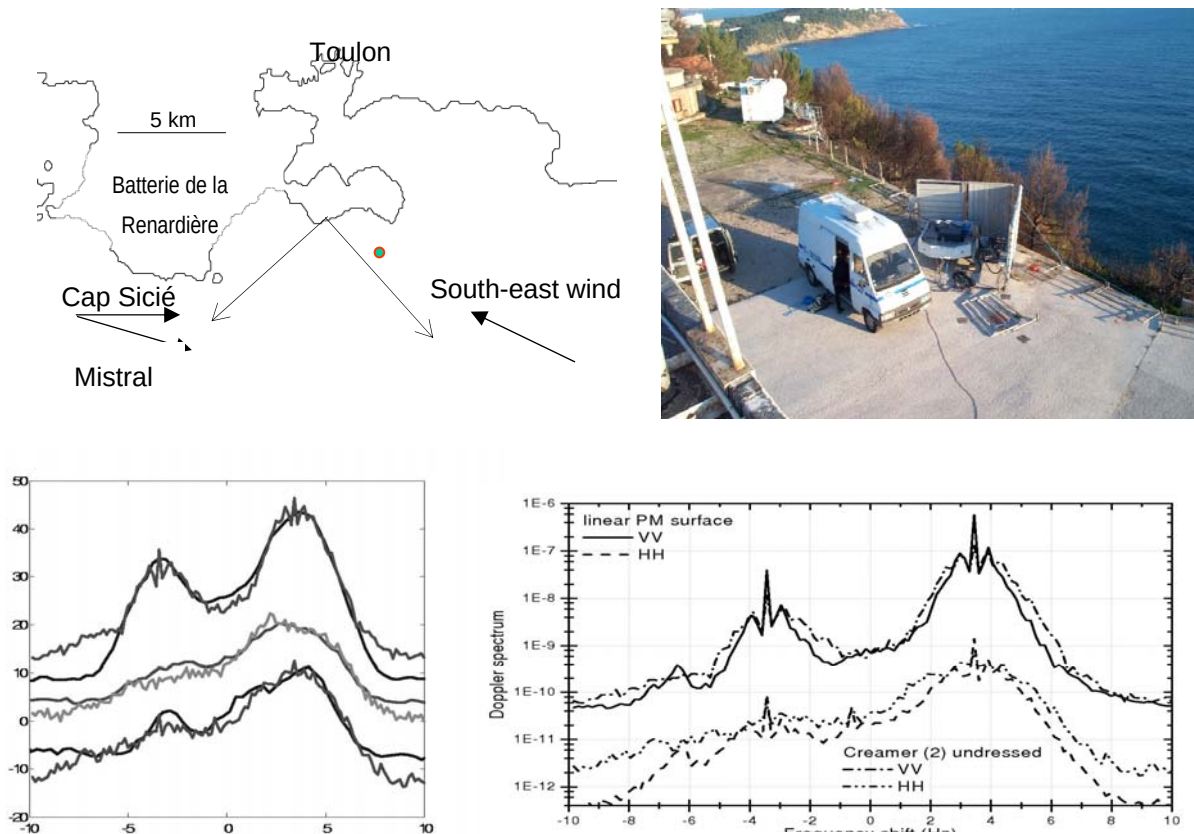
- Nous avons étudié le domaine de validité des méthodes approchées classiques en les comparant à un modèle numérique rigoureux développé précédemment dans l'équipe [41]. Ce travail a été mené en collaboration avec des spécialistes des sols et de la mer dans le cadre d'un Programme Général d'Etude de l'ESA/ESTEC.



Domaines de validité de trois méthodes approchées établis par comparaison avec un modèle rigoureux

- Parallèlement, nous avons développé trois nouvelles méthodes approchées présentant des domaines de validité étendus.
- L'optique géométrique (GO) est valable à la limite quand la longueur d'onde électromagnétique tend vers zéro. À l'inverse, quand la longueur d'onde est très grande devant la rugosité de la surface, on utilise un développement perturbatif, appelé méthode des petites perturbations (SPM). Une méthode est dite unifiée lorsqu'elle permet de retrouver pour chacune des deux limites la méthode asymptotique adéquate. La méthode unifiée la plus connue est sans doute la méthode des faibles pentes (SSA). C'est toutefois une méthode du second ordre, et son calcul est difficile. Nous avons montré avec la Weighted Curvature Approximation (WCA) [35], comment, en considérant l'influence de la courbure de la surface, on peut obtenir une méthode unifiée du premier ordre.
- Notre équipe a une grande expérience des modèles de résolution numérique du problème rigoureux de diffraction [42]. Ces modèles, fondés sur la résolution d'une équation intégrale de surface, requièrent toutefois des moyens numériques (mémoire vive, machine multi-processeur ou cluster de PC) et des temps de calcul très importants. Nous avons montré comment la diffraction par des surfaces présentant des hauteurs et/ou des pentes modérées peut être modélisée par une équation intégrale approchée. Cette équation peut être résolue avec des moyens numériques très réduits. Ce modèle approché, appelé Small Slope Integral Equation (SSIE) [27], hérite un certain nombre de propriétés du modèle rigoureux dont il est issu. En particulier, il est possible d'estimer la fiabilité des résultats, et ce modèle n'est pas restreint aux surfaces à statistique gaussienne. Il est aussi un des seuls à prédire correctement la dépolarisation dans le plan d'incidence.
- Le modèle de diffraction électromagnétique le plus utilisé dans la communauté de la télédétection océanique est le modèle à deux échelles. Ce modèle couple la méthode des petites perturbations (SPM) pour les petites vagues et l'optique géométrique (GO) pour les grandes vagues. Ce modèle est toutefois biaisé, car ses résultats dépendent de la valeur de l'échelle de coupure entre grandes et petites vagues. Nous l'avons amélioré en substituant à SPM la méthode des faibles pentes au premier ordre (SSA1). Nous avons montré que l'intensité diffractée en co-polarisation prévue par le modèle à deux échelles devient alors quasiment indépendante de l'échelle de coupure.
- Nous avons analysé le phénomène de diffraction par des surfaces décrites par des modèles non-conventionnels : surfaces fractales [34] et surfaces non-gaussiennes [43] et défini un jeu de paramètres de rugosité adaptés à ces types de surfaces. Nous avons établi les domaines de validité théoriques de

certaines méthodes approchées en fonction de ces nouveaux paramètres. Un simulateur numérique de spectres Doppler sur une surface océanique non-linéaire a été développé, dans le cadre de l'Equipe Projet MultiLaboratoires 38 – RTP 50, pour étudier les données de radars Doppler UHF dédiés à l'observation de la zone littorale. Les mesures ont été réalisées en décembre 2003 puis décembre 2004 près de Toulon. Sont représentés sur le schéma ci-dessus la direction des vents dominants et l'orientation des deux radars. Comme on peut le constater sur la figure 1 ci-dessous, les simulations permettent de prédire avec précision la forme des spectres Doppler, aussi bien en co-polarisation qu'en polarisation croisée. Le caractère non-linéaire de la surface océanique ne peut ici être négligé, puisqu'il a pour effet d'élargir notablement les pics Doppler (figure 2).



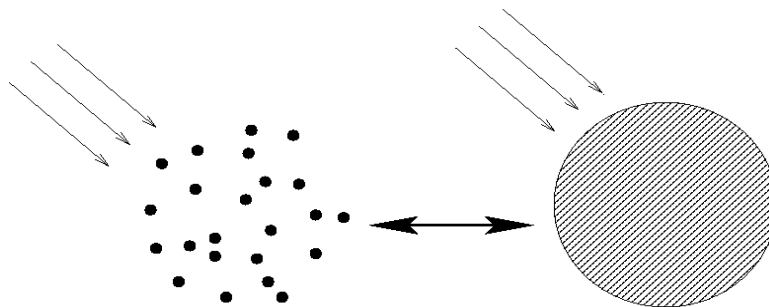
1) Comparaison expérience-théorie pour une vitesse de vent de 4m/s

2) Influence du caractère non-linéaire de la surface sur le calcul du spectre Doppler

- Nous avons étudié la diffraction par des surfaces hétérogènes faiblement rugueuses à l'aide d'une méthode perturbative [24]. Dans cette approche, un dépôt rugueux est vu comme une perturbation volumique de la distribution de permittivité d'un substrat bien caractérisé (dioptré plan semi-infini ou multicouche). En combinant une série de Born pour le champ diffracté et un développement en hauteurs de la rugosité, nous avons obtenu des expressions tensorielles simples de la matrice de diffraction jusqu'au deuxième ordre en hauteur.. Nous avons montré que ces expressions coïncident, dans le cas particulier des surfaces homogènes (i.e. pour des dépôts et substrats de même permittivité) avec le développement classique de Rayleigh-Rice. Une étude numérique a été faite dans le cas unidimensionnel et une comparaison a été effectuée avec un code exact basé sur la méthode intégrale volumique. Le résultat le plus marquant est que la diffusion multiple est beaucoup plus prononcée

pour les matériaux hétérogènes que pour les matériaux homogènes, pour des rugosités identiques. Ainsi, une correction de diffusion double peut se montrer nécessaire pour des dépôts hétérogènes très peu rugueux, alors que la diffusion simple est précise dans une géométrie analogue pour le cas homogène.

- Nous avons mené, en collaboration avec l'ONERA Toulouse, une étude de la diffusion des ondes par des milieux hétérogènes rugueux et par des agrégats aléatoires dans des milieux de taille finie. Nous avons développé un cadre théorique très général qui permet d'établir des règles d'homogénéisation pour des milieux composites présentant au moins une dimension comparable à la longueur d'onde. La méthode consiste à rechercher le milieu homogène de même forme produisant le même champ diffracté cohérent que le milieu aléatoire [4,15]. L'application typique est la diffraction par les aérosols (micro gouttelettes d'eau contaminées par des particules de carbone) ou la diffraction par une surface recouverte d'un film hétérogène comprenant de petites inclusions. Ces formules prennent en compte la géométrie du milieu ambiant et retrouvent les règles d'homogénéisation classiques lorsque le volume de ce dernier devient grand (lois de mélanges de Maxwell-Garnett, approximation de Foldy, approximation quasi-cristalline) [4]. Nous avons également montré [15] que, pour certaines configurations, contrairement à l'idée reçue, la règle classique de Maxwell-Garnett peut rester valable pour des fortes densités de petites particules plongées dans un milieu homogène.



- Enfin, depuis novembre 2005 nous travaillons en collaboration avec DCN Toulon et le LSEET (UMR 6017) dans le cadre de la thèse de Philippe Spiga sur la diffusion par des surfaces rugueuses éclairées en incidence rasante. C'est un problème spécifique, qui apparaît notamment lorsqu'une antenne est placée sur un mât (télécommunications, défense...) ou sur la côte (surveillance environnementale ou militaire de l'espace maritime). Ce problème est, excepté pour des surfaces de très faible hauteur, un problème encore ouvert. Il est difficile à traiter à l'aide des méthodes numériques existantes à cause, en particulier, de l'étendue de la tache d'éclairement.

VII.4. Imagerie optique à haute résolution en champ lointain

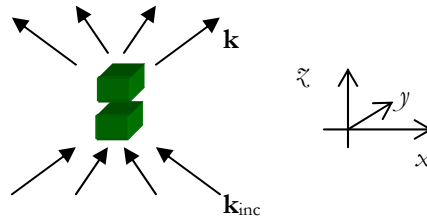
Depuis 2002, nous travaillons sur un projet d'imagerie optique haute résolution soutenu par le ministère de la recherche dans le cadre d'une ACI jeune chercheur et par des subventions des collectivités locales et territoriales. Cette étude est motivée par le besoin croissant en outils de visualisation non intrusifs permettant de faire une carte tri-dimensionnelle de la permittivité d'un objet avec une précision sub-100 nm.

L'application visée est la caractérisation et le contrôle des nanostructures présentes dans les circuits intégrés modernes et, de manière générale, l'analyse des structures internes d'objets semi-transparents. Le système d'imagerie que nous proposons s'inspire de la tomographie par diffraction développée en micro-onde sur laquelle l'équipe possède une certaine expertise. L'échantillon est éclairé par un faisceau monochromatique sous différentes incidences et le champ diffracté est détecté selon différents angles d'observations. Un montage interférométrique permet de mesurer l'intensité et la phase du champ. Contrairement à un microscope conventionnel, où l'image de l'objet est construite analogiquement par l'action des lentilles sur le

champ diffracté, nous utilisons des algorithmes de résolution du problème inverse permettant de remonter à la carte de permittivité de l'objet à partir des mesures du champ.

Au cours des années 2002-2004, nous avons étudié la faisabilité et l'intérêt de ce système d'imagerie en simulant l'expérience et en développant des méthodes d'inversion adaptées aux spécificités du montage en optique. Nous avons tout d'abord considéré des objets invariants selon un axe, pour simplifier les calculs [35], puis nous avons étendu notre simulation et nos algorithmes de reconstruction aux objets tri-dimensionnels.

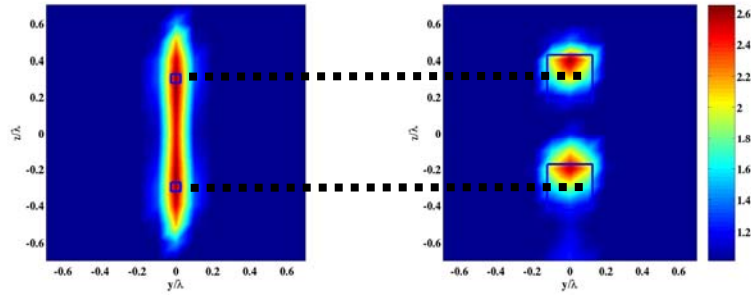
Nous avons envisagé un montage en transmission dans lequel les objets sont éclairés par des ondes planes arrivant du substrat et le champ diffracté est mesuré en champ lointain par des capteurs situés au dessus de l'échantillon.



Tomographie optique par diffraction en optique. $\mathbf{k}_{inc}$, $(\mathbf{k})$ représente le vecteur d'onde des ondes planes incidentes (diffractées)

VII.4.1. Objets en milieu homogène

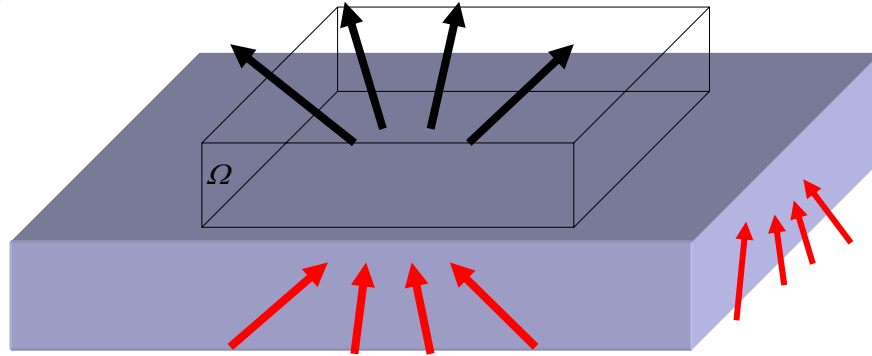
Tout d'abord, nous avons simulé une expérience de tomographie où les objets baignent dans un milieu homogène. Cette configuration se rapproche de celle obtenue dans les microscopes à immersion. Le champ diffracté par l'échantillon est évalué par une méthode intégrale volumique [23] faisant intervenir le tenseur de Green en espace homogène. Cette technique de résolution du problème direct a servi de point de départ pour développer un algorithme d'inversion basé sur l'estimation de la polarisation induite à l'intérieur de l'objet [22]. Le champ lointain étant relié linéairement aux dipôles induits via une transformée de Fourier, cette technique est très rapide. Elle donne de bons résultats lorsque les objets sont peu diffusants. Nous avons étudié ses performances en reconstruisant, par exemple, la carte de permittivité de deux cubes placés à des distances différentes selon Ox et Oz . Nous avons obtenu une résolution de 0.3λ dans le plan xOy et de 0.7λ selon Oz . Ce résultat n'est pas surprenant si l'on considère qu'en absence de diffusion multiple, le champ diffracté dans la direction du vecteur d'onde $\mathbf{k}$ par un objet éclairé par une onde plane selon $\mathbf{k}_{inc}$ est proportionnel à la transformée de Fourier de la permittivité prise en $\mathbf{k} - \mathbf{k}_{inc}$. Dans la configuration d'angles d'incidence et d'observation choisie, $\mathbf{k} - \mathbf{k}_{inc}$ décrit un volume dans l'espace des pulsations spatiales de largeur $4\omega/c$ dans le plan (xOy) et $2\omega/c$ selon Oz . La résolution de la permittivité reconstruite avec une méthode linéaire est donc de l'ordre de $\lambda/4$ selon (xOy) et $\lambda/2$ selon Oz . Ainsi, grâce à l'utilisation de plusieurs ondes incidentes et un algorithme d'inversion très simple, on peut espérer obtenir une résolution deux fois plus petite que celle des microscopes conventionnels (limitée par le critère de Rayleigh à $\lambda/2$). Pour étendre notre étude à des objets plus diffusants, une méthode d'inversion non-linéaire a été mise en œuvre. Dans ce cas, la permittivité est évaluée itérativement dans un domaine borné Ω de manière à minimiser une fonction coût représentant la distance entre les mesures et le champ diffracté simulé. Cette méthode nécessite le calcul rigoureux du champ électromagnétique à l'intérieur du domaine d'investigation à chaque estimation de la permittivité. Il est apparu que définir le pouvoir de résolution du système d'imagerie dans ce cas est problématique. Par exemple, deux cubes de côté $\lambda/20$ séparés centre à centre de 0.6λ selon Oz ne peuvent pas être distingués sur l'image reconstruite alors que deux cubes de côté $\lambda/4$ et séparés de la même distance centre à centre sont clairement visibles sur la reconstruction. Plusieurs exemples du même type suggèrent que la présence de diffusion multiple peut, si elle est correctement prise en compte, améliorer la résolution de l'image [6]. Actuellement, nous poursuivons cette étude de manière plus fondamentale en essayant de définir la notion de résolution à l'aide des outils du traitement du signal développés par l'équipe PhyTi du laboratoire.



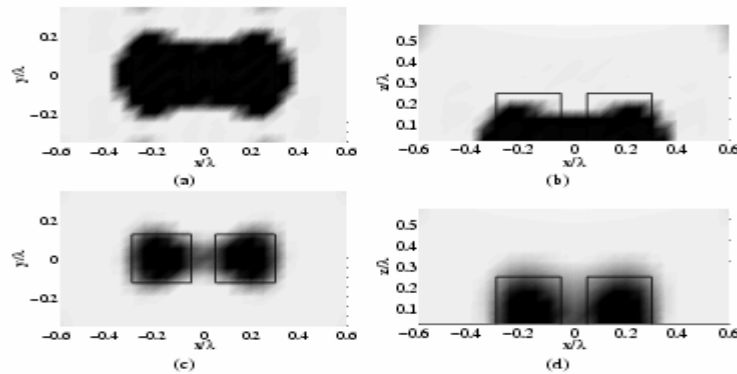
Carte de permittivité obtenue par la méthode d'inversion non-linéaire. Les objets, indiqués par les lignes bleues, sont deux cubes déposés selon l'axe Oz , distants centre à centre de 0.6λ et de côté $\lambda/20$ (gauche) et $\lambda/4$ (droite).

VII.4.2. Objets déposés sur un substrat. Configuration stratifiée

Dans une seconde étape, nous avons considéré une configuration plus réaliste dans laquelle les objets sont déposés sur un substrat et peuvent être éclairés en réflexion totale interne. Pour simuler le champ diffracté par des objets sur un substrat, nous avons adapté la méthode intégrale volumique en introduisant le tenseur de Green en milieu stratifié. Puis, nous avons développé un algorithme d'inversion linéaire, dans lequel le champ à l'intérieur du domaine d'investigation est assimilé au champ de référence renormalisé existant en l'absence des objets, et non linéaire, dans lequel un calcul exact du champ à l'intérieur de Ω est nécessaire à chaque itération.

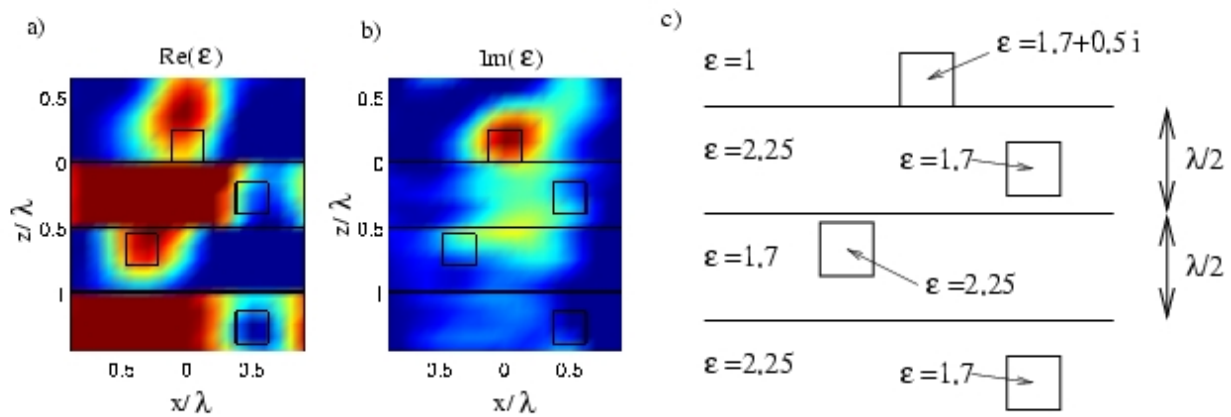


Configuration de l'expérience de tomographie de diffraction en réflexion totale. On utilise 16 ondes planes dans chaque plan xOz et yOz . L'angle d'incidence varie de -80° à 80° dans le prisme. On capte le champ diffracté selon 64 directions d'observation dans un angle solide proche de π .



Carte de permittivité obtenue dans le plan xOy et xOz avec l'algorithme d'inversion linéaire (a,b) ; idem avec l'algorithme d'inversion non linéaire (c,d). Les objets sont deux cubes de côtés $\lambda/4$ de permittivité relative 2.25, séparés bord à bord de $\lambda/10$.

Nous avons étudié plusieurs types d'éclairages, en deçà ou au delà de l'angle critique. Nous avons vérifié que l'éclairage en réflexion totale permet d'améliorer fortement la résolution de l'image. Plus précisément, l'analyse des pulsations spatiales accessibles dans une telle configuration indique que la résolution dans le plan xOy , attendue avec une inversion linéaire, est de l'ordre de $0.6\lambda/(n+1)$ où n est l'indice du substrat-prisme. Parallèlement, nous avons montré que l'éclairage par ondes propagatives permet, lui, de diminuer la sensibilité au bruit. Enfin, il est apparu que, même si les objets sont relativement petits et peu contrastés (cubes de verre, de côté $\lambda/4$), il est nécessaire d'utiliser des méthodes d'inversion non-linéaires pour avoir des reconstructions satisfaisantes. L'influence de la diffusion multiple est plus importante lorsque les objets sont déposés sur un dioptre que lorsqu'ils sont dans un milieu homogène [16,19]. Actuellement, nous étendons nos algorithmes de reconstruction à des configurations où les objets sont enfouis dans des strates de différents matériaux. Nous avons déjà vérifié que la méthode d'inversion basée sur l'estimation de la polarisation induite permettait de localiser précisément les objets et nous envisageons maintenant de caractériser ces objets à l'aide de la méthode d'inversion non linéaire.



c) Schéma de la configuration étudiée. Le domaine d'investigation fait $2\lambda \times 2\lambda \times 2.2\lambda$. La largeur des cubes est de $\lambda/4$. L'éclairage se fait par en dessous avec 16 ondes planes comprises dans l'intervalle $[-80^\circ, 80^\circ]$. L'observation est faite en champ lointain en 65 points d'observations disposés sur une calotte sphérique avec une ouverture de 80 degrés. a) Partie réelle de la permittivité relative dans le plan (x,z) . Notons que chaque couche a sa propre échelle de couleur. b) Partie imaginaire de la permittivité relative dans le plan (x,z) .

Comme le montre la figure précédente, la méthode que nous avons développée nous permet de localiser sans problème différents diffuseurs disposés dans un système multicouche. De plus nous pouvons détecter les diffuseurs qui présentent une absorption. La méthode utilisée dans ce cas ne permet que de localiser les objets ; nous sommes en train de développer un algorithme permettant, en plus, d'évaluer la permittivité relative des diffuseurs.

VII.4.3. Objets déposés sur un substrat nanostructuré

Une des clefs de l'amélioration de la résolution d'un système d'imagerie optique réside dans la capacité à éclairer l'échantillon avec un champ présentant de très hautes pulsations spatiales. Une solution consiste à éclairer l'objet en réflexion totale, ce qui augmente la pulsation transverse du champ incident à $2\pi n/\lambda$.

Cependant, les indices de matériaux transparents en optique ne dépassant environ 2 en général, l'amélioration de la résolution reste très limitée. Pour obtenir une résolution comparable à celle obtenue en microscopie de champ proche, nous proposons de déposer les objets sur un substrat périodiquement nanostructuré. En effet, il est bien connu que le champ au dessus d'un réseau peut présenter des fréquences

spatiales arbitrairement grandes. Pour étudier cette configuration très complexe, nous avons développé un code permettant de simuler le champ diffracté par des objets déposés sur un réseau bi-périodique. Nous avons, là encore, adapté la méthode intégrale volumique en calculant le tenseur de Green en présence d'une couche périodiquement gravée dans le plan xOy [13]. Ce code de résolution du problème direct sert de base aux algorithmes d'inversion associés. Nous travaillons actuellement sur l'optimisation des réseaux et l'étude de la résolution d'une telle configuration. Les premiers résultats sont très encourageants.

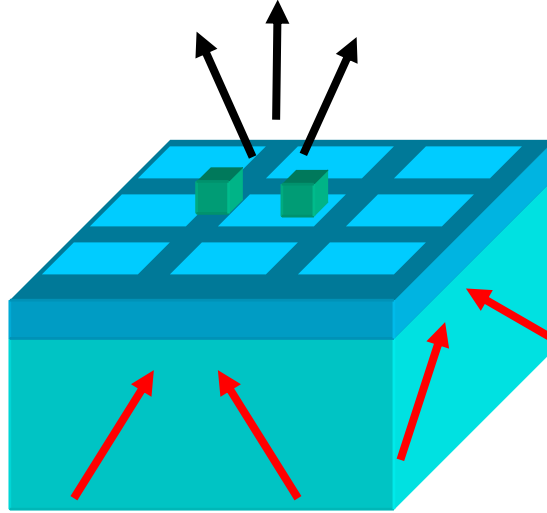
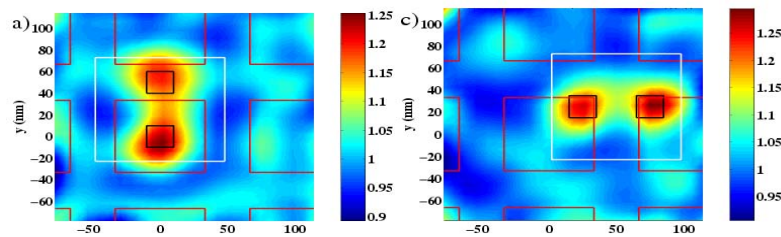


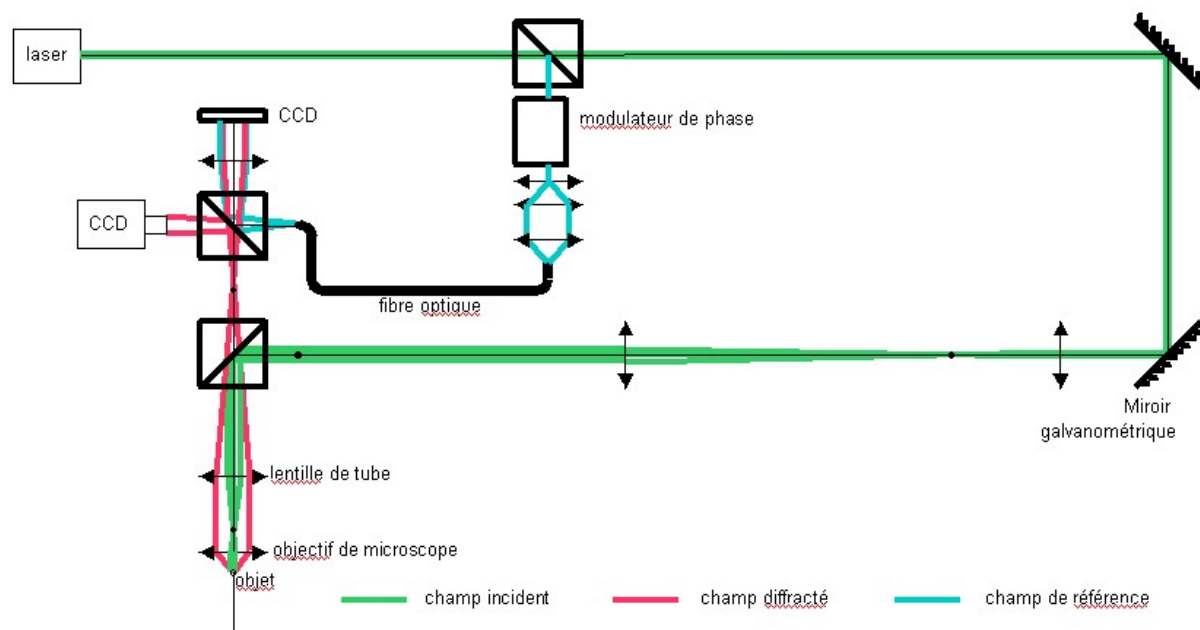
Schéma de la structure supportant les objets.



Carte de permittivité reconstruite pour deux positions d'objets sur le réseau. Les objets sont deux cubes de côté $\lambda/20$ séparés centre à centre de $\lambda/10$ (indiqués par les lignes noires). Le réseau a une période de $\lambda/5$.

VII.4.4. Montage expérimental

Pour effectuer des mesures du champ diffracté en amplitude et en phase, pour différentes incidences, nous développons actuellement un dispositif expérimental fonctionnant en réflexion. Ce montage interférométrique, qui utilise comme champ de référence le champ sortant d'une fibre optique (voir figure), ne nécessite pas de stabilisation mécanique précise. En effet, les fluctuations aléatoires du déphasage entre le champ diffracté et le champ de référence sont enregistrées, puis compensées, grâce à une mesure permanente de l'état d'interférences entre le faisceau spéculaire réfléchi et le champ diffracté par l'objet. Les applications visées sont le contrôle des nano composants pour la microélectronique, les MOEMS... Ce travail rejoint les problèmes étudiés avec la société Thalès TRT dans le cadre d'une thèse CIFRE (Julien Taste) qui porte sur l'holographie numérique pour l'imagerie à haute résolution par synthèse d'ouverture [81].



VII.4.5. Perspectives

Nous poursuivons actuellement le travail théorique et numérique sur l'imagerie optique haute résolution dans quatre directions :

- Nous continuons l'étude de la caractérisation d'objets enfouis dans un multicouche.
- Nous menons une recherche fondamentale sur la notion de résolution lorsque la diffusion multiple est prise en compte dans la reconstruction.
- Nous poursuivons l'analyse des performances du système d'imagerie lorsque les objets sont déposés sur un substrat nanostructuré. Cette étude sera particulièrement importante du fait du potentiel de cette configuration. Elle inclut en particulier l'optimisation des substrats-réseaux et l'amélioration des méthodes d'inversion.
- Nous étendons, en collaboration avec l'équipe MOSAIC, cette technique d'imagerie à d'autres configurations comme la microscopie par fluorescence à la microscopie à éclairage incohérent et à l'imagerie utilisant des effets non linéaires. Il s'agit-là d'une action transverse entre les deux équipes qui a donné des résultats matérialisés par des publications communes [2,3,12] et [65-69].

Enfin, nous comptons, au cours des prochaines années, fournir un gros effort pour mettre en place un montage expérimental de tomographie optique par diffraction. Pour cela, nous bénéficierons des compétences de la société Lauer Optique avec laquelle nous venons de signer un contrat cadre pour développer un prototype de microscope basé sur ces principes. Cette mise en œuvre pratique est l'objet de la thèse de Mr. Drsek débutée en octobre 2005.

VII.5. Relations internationales et rayonnement

- * 2006 : Programme d'Action Intégré (PAI) Galilée avec l'Université de Reggio Calabria (Italie).
- * 2006 : Programme de collaboration CNRS-CNR – Université de Naples et Université de Reggio Calabria (Italie)
- * Constitution d'une base de données (site web : <http://www.iop.org/EJ/softabstract/-repositem=5/0266-5611/>) de mesures de champs diffractés par différents objets à la disposition des chercheurs de la communauté internationale travaillant sur les algorithmes de reconstruction.

* 2003-2005 : Equipe Projet Multi-Laboratoires : EPML 38 – RTP 50 « Utilisation de nouveaux capteurs en télédétection active océanique », financé par le CNRS, qui fédère 3 laboratoires régionaux (Institut Fresnel, IRPHE (UMR 6594), LSEET (UMR 6017)) et y associe une entreprise Toulonnaise (Ets Degréane).

* 2004—2005 : Programme d'Action Intégré (PAI) Tournesol avec l'équipe flamande INTEC de l'Université de Gand. Titre : Techniques microondes de caractérisations d'objets enfouis. Application à l'évaluation non destructive du béton armé et à la détection de canalisations.

* 2000-2002 : Programme d'Actions Intégrées (PAI) PROCORE entre la France et Hong-Kong. Collaboration avec les Prof. C.H. Chan et Dr. M.Y. Xia du Wireless Communications Research Center, City University of Hong Kong, Titre : Comparaison de modèles numériques de diffraction électromagnétique sur des surfaces bidimensionnelles.

* Patrick Chaumet a effectué un séjour de 5 mois au National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, USA, grâce à une collaboration avec le Prof. Bryant.

* Charles-Antoine Guérin a effectué plusieurs séjours entre 2002 et 2006 (3 mois au total) au Département de Mathématiques appliquées, Université de Potsdam (Allemagne), en tant que professeur invité.

* Hugues Giovannini est Professeur invité au Politecnico de Milan, Italie, depuis 2001.

* Hugues Giovannini a été responsable de l'Action Spécifique (AS 59) du CNRS « Imagerie optique à haute résolution par synthèse d'ouverture » (2002/2003).

* Hugues Giovannini a été membre du Réseau Thématique Pluridisciplinaire (RTP 26) du CNRS « Instruments et Systèmes d'Ondes » (ISO) de 2002 à 2004.

* Professeurs invités :

- Matthias Holschneider, Département de Mathématiques appliquées, Université de Potsdam, Allemagne. 1 mois (septembre 2002), 1 mois (mars 2003), 1 mois (juillet 2005).
- Denis Konan, Université de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 4 mois (septembre-décembre 2004).

VII.6. Doctorants et thèses soutenues

VII.6.1. HdR soutenues

Charles-Antoine Guérin, HdR soutenue le 14 décembre 2005

Pierre Sabouroux, HdR soutenue le 11 septembre 06

VII.6.2. Thèses soutenues

O. Cmielewski, thèse soutenue le 16/11/05 (bourse DGA), actuellement enseignant à la Réunion

A. Dubois, thèse soutenue le 30/09/05 (bourse ministérielle), ingénieur au Laboratoire des Ponts et Chaussées

C. Eyraud, thèse soutenue le 5/12/06 (bourse ministérielle), actuellement ATER à Rennes

P. Mallet, soutenance prévue en décembre 2006 (bourse BDI CNRS-ONERA), Post doc à l'ONERA

VII.6.3. Thèses en cours

P. Spiga, thèse débutée en septembre 2005 (bourse CIFRE DCN Toulon)

S. Vergerio, thèse débutée en septembre 2005 (bourse CIFRE France Télécom)

F. Drsek, thèse débutée en septembre 2005 (bourse ministérielle)

R. Lencrerot, thèse débutée en septembre 2005 (bourse ministérielle)

F. Nouguier, thèse débutée en septembre 2006 (bourse DGA)

VII.7. Budget SEMO

Equipe SEMO						
CODE RAPPORT CNRS et QUAD	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
BQR et ressources suppl. provenant	2003	OMS 153	CNRS	dotation RTP STIC et environ	M. Saillard	11 960,00 €
		1MA 153	IRPHE / CNRS	transfert DR	P. Sabouroux	1 794,00 €
	Total 2003					13 754,00 €
	2004	32518	Univ. Provence / Fed	Subvention FEDER - BQR 20	P. Sabouroux	10 000,00 €
				Subvention FEDER BQR 2004	P. Sabouroux	5 000,00 €
		OMA 153	CNRS / Feder	Subvention FEDER Chambre	P. Sabouroux	47 840,00 €
		OMS 153	CNRS	Subvention	M. Saillard	23 920,00 €
		350 R1	Univ. Paul Cezanne/	FEDER - BQR 2003 Chambre	P. Sabouroux	15 000,00 €
	Total 2004					101 760,00 €
	2005	OMA 153	CNRS/CETHIL	Subvention CNRS	P. Sabouroux	2 392,00 €
	Total 2005					2 392,00 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						117 906,00 €
Collectivités territoriales	2003	4196 R3	Conseil Régional	Subvention	A. Sentenac	23 786,05 €
	Total 2003					23 786,05 €
	2004	32518	Conseil Général / Fe	Subvention FEDER Chambre	P. Sabouroux	50 000,00 €
			Conseil Régional / F	Subvention locale FEDER	P. Sabouroux	50 000,00 €
			Ville Marseille	Subvention Chambre anéchoï	P. Sabouroux	15 000,00 €
	Total 2004					115 000,00 €
Total Collectivités territoriales						138 786,05 €
Communauté européenne	2003	versé au cher	EGIDE	PAI	J.M. Geffrin	1 200,00 €
	Total 2003					1 200,00 €
	2005	versé au cher	EGIDE	PAI	J.M. Geffrin	1 000,00 €
	Total 2005					1 000,00 €
	2006	(vide)	CNRS/CNR	Subvention CNRS	K. Belkébir	1 800,00 €
			EGIDE	EGIDE	K. Belkébir	4 100,00 €
	Total 2006					5 900,00 €
Total Communauté européenne						8 100,00 €
Fonds pour la recherche et la techn	2003	4183 R3	MNRT	ACI Jeunes chercheurs	A. Sentenac	45 000,00 €
	Total 2003					45 000,00 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						45 000,00 €
Ressources propres	2003	4198 R3	ESA / NOVELTIS	contrat de recherche	C.A. Guerin C	56 371,07 €
		4199 UB 930	ESA	contrat de recherche	M. Saillard	11 960,00 €
	Total 2003					68 331,07 €
	2004	10405	ANVAR	Aide aux jeunes	P. Sabouroux	2 000,00 €
		1MA 153	THALES	Cifre	H. Giovannini	7 500,00 €
	Total 2004					9 500,00 €
	2005	4198 UB 930	ESA	contrat de recherche	C.A. Guerin C	8 525,00 €
	Total 2005					8 525,00 €
Total Ressources propres						86 356,07 €
Total						396 148,12 €

Equipe SEMO/CLARTE						
CODE RAPPORT CNRS et QUAD	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
ANR	2005	4328 UB 930	ANR GIP	Subvention	A. Sentenac	37 147,76 €
	Total 2005					37 147,76 €
Total ANR						37 147,76 €
Collectivités territoriales	2003	4197 R3	Conseil Général	Subvention locale	A. Sentenac	34 344,34 €
	Total 2003					34 344,34 €
Total Collectivités territoriales						34 344,34 €
Communauté européenne	2006	(vide)	EGIDE	PAI	A. Nicollet/F. Zolla	3 000,00 €
	Total 2006					3 000,00 €
Total Communauté européenne						3 000,00 €
Total						74 492,10 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où cette équipe bénéficie de 133k€ (projet CESAR) et 38,5k€ (ANR SOOT).

VII.8. Production Scientifique SMO

VII.8.1. Publications dans des revues à comité de lecture

1. N. Sandeau, H. Giovannini, Arrangement of a 4Pi microscope for reducing the confocal detection volume with two-photon excitation, *Optics Communications* **264**, pp. 123-129 (2006)
2. N. Sandeau, H. Giovannini, Increasing the lateral resolution of 4Pi microscopes, *Journal of the Optical Society of America A* **23**, pp. 1089-1095 (2006)
3. A. Dubois, J.M. Geffrin, K. Belkebir, M. Saillard, Imaging of dielectric cylinders from experimental stepped-frequency data, *Applied Physics Letters* **88**, 164104 (2006) N. Sandeau, H. Giovannini, Increasing the lateral resolution of 4Pi microscopes, *Journal of the Optical Society of America A* **23**, pp. 1089-1095 (2006)
4. C.A. Guérin, P. Mallet, A. Sentenac, Effective medium theory for finite size aggregates, *Journal of the Optical Society of America A* **23**, pp. 349-358 (2006)
5. P.C. Chaumet, K. Belkebir, R. Lencrérôt, Three-dimensional optical imaging in layered media, *Optics Express* **14**, pp. 3415-3426 (2006)
6. K. Belkebir, P.C. Chaumet, A. Sentenac, Influence of multiple scattering on three-dimensional imaging with optical diffraction tomography, *Journal of the Optical Society of America A* **23**, No. 3, pp. 586-595 (2006)
7. F. Bordas, N. Louvion, S. Callard, P.C. Chaumet, A. Rahmani, Coupled dipole method for radiation dynamics in finite photonic crystals structures, *Physical Review E* **73**, 056601 (2006)
8. K. Belkebir, M. Saillard, Special section on testing inversion algorithms against experimental data: inhomogeneous targets, *Inverse Problems*, **21**, pp. S1-S3 (2005)
9. A. Litman, Reconstruction by level sets of n-ary scattering obstacles, *Inverse Problems*, **21** pp. S131-S152 (2005)
10. M.T. Galli, M. Gonfalini, M. Mele, P. Belik, O. Faivre, L. Jammes et A. Litman, Resistivity modeling of array laterolog tools: an application in an offshore Norway clastic reservoir, *SPE Res. Eval. Eng.* **8**, pp. 77-87 (2005)
11. A. Dubois, K. Belkebir, M. Saillard, Retrieval of inhomogeneous targets from experimental frequency diversity data, *Inverse Problems* **21**, pp. S65-S79 (2005)
12. N. Sandeau, H. Giovannini, P. F. Lenne, H. Rigneault, Observation of the interferences between the emitted beams in a 4Pi microscope by partial coherence interferometry, *Applied Physics Letters* **87**, 181103 (2005).
13. P.C. Chaumet, A. Sentenac, Numerical simulations of the electromagnetic field scattered by defects in a double-periodic structure, *Physical Review B* **72**, 205437 (2005)
14. P. Sabouroux, J.-M. Geffrin, C. Eyraud, Free space experimental scattering database continuation: experimental set-up and measurement precision, *Inverse Problems* **21**, pp. S117-S130 (2005)
15. P. Mallet, C.A. Guérin, A. Sentenac, The Maxwell-Garnett mixing rule in the presence of multiple scattering: derivation and accuracy, *Physical Review B* **72**, 014205 (2005)
16. K. Belkebir, P.C. Chaumet, A. Sentenac, Superresolution in total-internal reflection tomography, *Journal of the Optical Society of America A* **22**, pp. 1889-1897 (2005)
17. P. Sabouroux, P. Boschi, Simplification de la procédure de mesure de caractéristiques électromagnétiques de matériaux en temps réel, *Revue de l'Electricité et de l'Electronique (REE)* **8**, pp 84-89 (2005)
18. P. Sabouroux, P. Boschi, *EpsiMu*: un nouvel outil pour déterminer les caractéristiques électromagnétiques de matériaux en temps réel, *Revue de l'Electricité et de l'Electronique (REE)* **10**, pp 58-62 (2005)
19. P.C. Chaumet, K. Belkebir, A. Sentenac, Superresolution of three-dimensional optical imaging by

- use of evanescent waves, *Optics Letters* **29**, pp. 2740-2742 (2004)
20. A. Dubois, K. Belkebir, M. Saillard, Location and characterization of two-dimensional targets buried in a cluttered environment, *Inverse Problems* **20**, S63-S79, (2004)
 21. H. Tortel, Electromagnetic imaging of a three dimensional perfectly conducting object using a boundary integral formulation, *Inverse Problems* **20**, pp. 1-14 (2004)
 22. P.C. Chaumet, K. Belkebir,, A. Sentenac, Three-dimensional sub-wavelength optical imaging using the coupled dipole Method, *Physical Review B* **69**, 245405 (2004)
 23. P. C. Chaumet, A. Sentenac, A. Rahmani, Coupled dipole method for scatterers with large permittivity, *Phys. Rev. E* **70**, 036606 (2004)
 24. C.A. Guérin, A. Sentenac, Second-order perturbation theory for scattering from heterogeneous rough surfaces, *Journal of the Optical Society of America A* **21**, pp. 1251-1260 (2004)
 25. T. Elfouhaily, C.-A. Guérin. A critical survey of approximate scattering wave theories from random rough surfaces, *Waves in Random Media* **14**, pp. R1-R40 (2004)
 26. C.-A. Guérin, T. Elfouhaily, G. Soriano, Weighted Curvature Approximation: numerical tests for 2D dielectric surfaces, *Waves in Random Media* **14**, pp. 349-363 (2004)
 27. M. Saillard, G. Soriano, Fast numerical solution for scattering from rough surfaces with small slopes, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **52**, pp. 2799-2801 (2004)
 28. A. Rahmani, P. C. Chaumet, G. W. Bryant, On the importance of local-field corrections for polarizable particles on a finite lattice: applications to a discrete dipole approximation, *Astrophysical Journal* **607**, pp. 873-878 (2004)
 29. K. Belkebir, A. Sentenac, High resolution optical diffraction microscopy, *Journal of the Optical Society of America A* **20**, 1223-1229 (2003)
 30. A. Baussard, K. belkebir, D. Prémel, A Markovian regularization approach of modified gradient method for solving a two-dimensional inverse scattering Problem, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **17**, pp. 989-1008, (2003)
 31. L. Escoubas, J. J. Simon, M. Loli, G. Berginc, F. Flory, H. Giovannini, An antireflective silicon grating working in the resonance domain for the near infrared spectral region, *Optics Communications* **226**, pp. 81-88 (2003).
 32. P. C. Chaumet, A. Rahmani, G. W. Bryant, Generalization of thecoupled dipole method to periodic structure, *Physical Review B* **67**, 165404 (2003)
 33. C.-A. Guérin, H. Nyberg, O. Perrin, S. Resnick, H. Rootzen, C. Starica, Empirical testing of the infinite source poisson data traffic model, *Stochastic Models* **19**, pp. 156-196 (2003)
 34. C.-A. Guérin, M. Holschneider, Correlation dimension of self-similar surfaces and application to Kirchhoff integrals, *Journal of Physics A* **36**, pp. 9067-9079 (2003)
 35. C.-A. Guérin, M. Saillard, On the high-frequency limit of the second-order Small-Slope Approximation, *Waves in Random Media* **13**, 75 (2003)
 36. R. Deleuil, G. Gazoty, P. Sabouroux, Electromagnetic scattering from rough metallic surfaces, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation* **51**, pp. 1669-1670 (2003)
 37. G. Micolau, M. saillard, P. Borderies, D.O.R.T. method as applied to ultra-wide band signals for detection of buried objects, *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing* **41**, pp. 1813-1820 (2003)
 38. G. Micolau, M. Saillard, D.O.R.T. method as applied to electromagnetic sensing of buried objects, *Radio Science* **38**, 1038 (2003)
 39. H. Tortel, Localization and derivation of an optimal sphere for 3D objects, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **16**, pp. 771-791 (2002)
 40. A. Sentenac, H. Giovannini, M. Saillard, Scattering from rough inhomogeneous media: splitting of surface and volume scattering, *Journal of the Optical Society of America A* **19**, pp. 727-736 (2002)

41. A. Rahmani, P. C. Chaumet, G. W. Bryant, Coupled dipole method with an exact long-wavelength limit and improved accuracy at finite frequencies, *Optics Letters* **27**, pp. 2118-2120 (2002)
42. G. Soriano, C.-A. Guérin, M. Saillard, Scattering by two-dimensional rough surfaces: comparison between the Method of Moments, the Kirchhoff and the Small-Slope approximation, *Waves in Random Media* **12**, 63 (2002)
43. C.-A. Guérin, Scattering by rough surfaces with alpha-stable non-Gaussian height distribution, *Waves in Random Media* **12**, pp. 293-306 (2002)
44. A. Rahmani, P. C. Chaumet, G. W. Bryant, Local field correction for an interstitial impurity in a crystal, *Optics Letters* **27**, pp. 430-432 (2002)

VII.8.2. Conférences invitées dans des congrès

1. A. Dubois, J.M. Geffrin, K. Belkebir, M. Saillard, Inverse profiling from transient fields, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Genova, Italie (2006)
2. A. Dubois, K. Belkebir, M. Saillard, Iterative solution of the inverse scattering problem from transient scattered field, IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, Washington DC, USA (2005)
3. H. Giovannini, Imagerie optique à haute résolution, Ecole de Physique des Houches (2004)
4. A. Dubois, K. Belkebir, M. Saillard, Detection, localization and characterization of targets buried in a noisy environment, Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Pise, (2004)
5. P.C. Chaumet, K. Belkebir & A. Sentenac, High resolution imaging with optical diffraction tomography, role of the evanescent waves, Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Pise, p. 692, (2004)
6. M. Saillard, G. Micolau, H. Tortel, P. Sabouroux, J.-M. Geffrin, K. Belkebir, A. Dubois, Time reversal as applied to Electromagnetic probing, MMS, Marseille (2004)

VII.8.3. Proceedings à comité de lecture

1. P. Sabouroux, C. Eyraud, J.M. Geffrin, H. Tortel, P. Chaumet, H. Giovannini, Validation of 3D scattering measurements, IEEE AP International Symposium, Albuquerque (USA), pp. 2007-2010 (2006)
2. C. Eyraud, J. M. Geffrin, A. Litman, Drift correction for 3D scattering measurements, IEEE AP International Symposium, Albuquerque (USA), pp. 2003-2006 (2006)
3. M. Y. Xia, C. H. Chan, G. Soriano, M. Saillard, Simulation of microwave scattering from wind-driven ocean surfaces, Wave Propagation, Scattering and Emission in Complex Media, pp. 139-150, Editor Ya-Qiu Jin, Science Press and World Scientific (2004)
4. M. Saillard, G. Soriano, Scattering from rough surfaces with small slopes, Wave Propagation, Scattering and Emission in Complex Media, Editor Ya-Qiu Jin, Science Press and World Scientific, pp. 128-133 (2004)
5. N. Sandeau, H. Rigneault, P. F. Lenne, H. Giovannini, Axial localization of luminophores by partial coherence interferometry, SPIE vol. **5462**, pp. 51-56 (2004)
6. A. Baussard, K. Belkebir, D. Prémel, Regularized modified gradient method for inverse scattering problems, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (IEEE AP-S Symposium/URS meeting) **1**, pp. 511-514, (2003)
7. L. Escoubas, M. Loli, J.-J. Simon, H. Giovannini, F. Flory, F. Lemarquis, S. Enoch, G. Berginc, Design and fabrication of biperiodic AR gratings for the infrared, SPIE Proceedings **5250**, pp. 64-71 (2003)
8. A. Sentenac, K. Belkebir, H. Giovannini, Optical imagery, 19th Congress of the International Commission for Optics (ICO), Florence, SPIE Proceedings **4829**, pp. 233-237 (2002)

VII.8.4. *Communications à des congrès*

1. A. Litman, K. Belkebir, Reconstruction of two-dimensional obstacles from phaseless scattered fields, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Genova, Italie (2006)
2. P.C. Chaumet, K. Belkebir, A. Sentenac, High resolution three-dimensional imaging with optical diffraction tomography, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Genova, Italie (2006)
3. C. Eyraud, J.-M. Geffrin, P. Sabouroux, On the Accuracy of Scattering Measurements in Free Space: Random and Systematic Errors, ANTEM, St-Malo (2005)
4. P.C. Chaumet, K. Belkebir, A. Sentenac, High resolution three-dimensional imaging with optical diffraction tomography, Focus On Microscopy (FOM), Jena, Allemagne (2005).
5. H. Giovannini, A. Sentenac, K. Belkebir, D. Konan, Lensless optical microscope, Focus On Microscopy (FOM), Jena, Allemagne (2005).
6. P. Lewyllie, A. Franchois, C. Eyraud, J.-M. Geffrin, Testing a 3D BCGS-FFT solver against experimental data, Int. Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications, Torino, Italie (2005)
7. N. Sandeau, H. Giovannini, Super-résolution en 4pi-microscopie confocale à fluorescence, Horizons de l'optique, Chambéry (2005)
8. N. Sandeau, D. Gachet, P.-F. Lenne, H. Giovannini, H. Rigneault, Diagrammes de rayonnement en microscopie CARS, Horizons de l'optique, Chambéry (2005)
9. H. Rigneault, N. Djacker, D. Gachet, N. Sandeau, H. Giovannini, P.-F. Lenne, Image formation in Coherent Anti-Stokes Raman scattering microscopy, Physics 2005 – A century after Einstein, Warwick, Royaume Uni (2005)
10. N. Sandeau, D. Gachet, P.-F. Lenne, H. Rigneault, H. Giovannini, Radiation pattern and image formation in Coherent Anti-Stokes Raman scattering microscopy, Focus on Microscopy, Jena, Allemagne (2005)
11. N. Sandeau, H. Rigneault, P.-F. Lenne, H. Giovannini, Axial localization of luminiphores in a modified 4pi-microscope with partial coherence interferometry, Focus on Microscopy, Jena (Allemagne) (2005)
12. J.-M. Geffrin, C. Eyraud, P. Sabouroux, H. Tortel, 3D scattering measurements, validation with canonical targets, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Marseille (2004)
13. M. Saillard, G. Micolau, H. Tortel, P. Sabouroux, J.M. Geffrin, K. Belkebir, A. Dubois, DORT method and time reversal as applied to subsurface electromagnetic probing, International Symposium on Electromagnetic Theory (URSI), Pise, Italie (2004)
14. A. Dubois, K. Belkebir, M. Saillard, A hybrid inverse scattering method to reconstruct two-dimensional targets in limited aspect data configuration, International Symposium on Electromagnetic Theory (URSI), Pise, Italie (2004)
15. N. Sandeau, H. Rigneault, P.-F. Lenne, H. Giovannini, Improving the axial resolution of a 4pi-microscope by using partial coherence interferometry, Photonics Europe – Biophotonics Micro and Nano Imaging, Strasbourg (2004)
16. P.C. Chaumet, K. Belkebir, A. Sentenac, Sub-wavelength imaging with diffraction tomography, European Optical Society Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques, Delft, Pays-Bas (2003)
17. M. Y. Xia, C. H. Chan, L. Tsang, M. Saillard, G. Soriano, Recent developments on 3D modeling of random rough surfaces, International Union of Radio Science 17th General Assembly, Maastricht, Pays-Bas (2002)
18. M. Saillard, G. Soriano, C. A. Guérin, Rough surface scattering: comparison of approximate methods with a boundary integral method, URSI National Radio Science Meeting 102.5, Columbus, USA (2003)
19. M. Saillard, G. Soriano, Approximate boundary integral equations for time-harmonic rough surface scattering, International Workshop on Wave Propagation, Scattering and Emission, Shangai, Chine

(2003)

20. L. Escoubas, J.-J. Simon, M. Loli, G. Berginc, F. Flory, F. Lemarquis, S. Enoch, H. Giovannini,, Near infrared antireflective silicon grating working in the resonance domain, Design and Technology of Optical Coatings, Bonassola, Italie (2003)
21. G. Soriano, M. Saillard, An improved bistatic two-scale model for the ocean surface scattering, International Union of Radio Science 17th General Assembly, Maastricht, Pays-Bas (2002)

VII.8.5. Chapitres dans des ouvrages

1. K. Belkebir, A. Baussard, D. Prémel, Edge-preserving regularization scheme applied to modified gradient method to reconstruct two-dimensional targets from data laboratory-controlled, Progress in Electromagnetics Research, J. A. Kong (Ed.), PIER 54, pp. 1-17 (2005)

VII.8.6. Brevets

1. J. Colineau, H. Giovannini, J. Taste, Procédé de mesure des aberrations de front d'onde en lumière cohérente et de correction des effets de ces aberrations, Brevet Français THALES N° 0413741 étendu Europe, Canada, USA (2004)
2. Microscope Confocal interférométrique”, Sandeau N., Giovannini H., Rigneault H., Brevet CNRS n° FR 49925 (2006)

VIII - EQUIPE RCMO, RAPPORT SCIENTIFIQUE

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
RCMO	2	23	351

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	RCMO %	Date d'arrivée dans l'équipe
ABEL Laetitia	EGIM	Ens- chercheur	1	sept-06
LEMARCHAND Fabien	EGIM	Ens- chercheur	1	sept-00
ROUSSEL Luc	CNRS	ITA-IATOS	1	avr-01
KOC Cihan	CNRS	ITA-IATOS	1	janv-02
LEQUIME Michel	EGIM	Ens- chercheur	1	oct-97
CATHELINAUD Michel	CNRS	ITA-IATOS	1	oct-91
LEMARQUIS Frédéric	EGIM	Ens- chercheur	1	sept-98
Total servant au calcul de la répartition des crédits			7	

RCMO : Effectifs au 01/11/06

VIII.1. Introduction

Les activités de cette équipe, qui regroupent 3 enseignants chercheurs (1 Professeur, 2 Maîtres de Conférence) et 3 ITA (1 Ingénieur de Recherche, 1 Ingénieur d'Etude, 1 Technicien) s'inscrivent, comme le désigne son acronyme (**RCMO** – Recherche en matériaux, technologies et composants de Couches Minces Optiques) dans le champ thématique du filtrage optique interférentiel et peuvent être organisées autour de 4 grands axes de recherche, à savoir : Modélisation, Matériaux, Technologies et Composants.

Soulignons dès à présent que cette équipe met en œuvre, pour mener à bien ses recherches à dominante expérimentale, 4 bâtis d'évaporation de technologies différentes (évaporation classique par canon à électrons, évaporation classique avec assistance par faisceau d'ions, évaporation classique avec assistance plasma, pulvérisation et assistance par faisceau d'ions), tous équipés de dispositifs de contrôle optique *in situ* des épaisseurs déposées.

L'ensemble des travaux que nous allons présenter dans ce bilan d'activité scientifique a donné lieu sur la période à 54 publications et communications, dont 5 conférences invitées et 21 publications dans des revues internationales à comité de lecture.

VIII.2. Modélisation

La période 2003-2006 a été marquée par le développement de logiciels permettant de modéliser la répartition d'épaisseur de matière déposée à la surface d'un échantillon en fonction des positions et des mouvements relatifs du substrat et de la source de matière (cible plane ou creuset), ainsi que de la présence éventuelle entre ces deux éléments de dispositifs de masquage. Cette modélisation nous a permis non seulement de définir avec grande précision la position des substrats permettant d'obtenir une uniformité optimale des dépôts (et donc des propriétés spectrales de filtrage des composants), mais aussi d'aborder dans certains cas (par exemple, celui des filtres linéairement variables réalisés par pulvérisation assistée par faisceau d'ions) le problème inverse, c'est-à-dire la définition de la dynamique de masquage adaptée à la réalisation d'une spécification de non uniformité donnée.

Toutefois, pour que ces modélisations conduisent à des prédictions fiables, il est nécessaire, non seulement de disposer de l'ensemble des données géométriques du problème, mais aussi d'avoir accès à certains paramètres caractéristiques de l'inductrice d'évaporation de chaque matériau, tels que la direction principale de la plume ou sa largeur angulaire. La réponse métrologique que nous avons apportée à ce dernier point fera l'objet d'une présentation séparée (cf. paragraphe VIII.4.1).

Le deuxième événement marquant de cette période a été la confirmation du haut niveau de l'équipe dans le domaine du design, au travers du succès de l'un de ses membres (Fabien Lemarchand) dans la compétition (*Design Problem*) rituellement organisée par l'OSA et la communauté des couches minces optiques à l'occasion de la Conférence Internationale OIC (*Optical Interference Coatings*) : pour l'édition 2004, le problème portait sur la conception d'un filtre passe-bas ($R_p > 98\%$ pour toutes les longueurs d'onde comprises entre 575 et 675 nm, $T_p > 94\%$ pour toutes les longueurs d'onde comprises entre 425 et 525 nm), immergé dans un verre non dispersif d'indice 1,52 ; ce filtre était utilisé autour d'un angle nominal d'incidence de 45° et devait présenter une tolérance optimale vis-à-vis des variations de cet angle d'incidence.

VIII.3. Matériaux

VIII.3.1. Matériaux photosensibles

L'objectif de nos recherches dans le domaine des matériaux photosensibles était de rendre possible, en particulier au niveau des filtres bande étroite, une opération de type *laser trimming*, c'est-à-dire un ajustement, *a posteriori* et par procédé laser, de la valeur de la longueur d'onde de centrage de ces filtres. Cet

ajustement serait dans son principe analogue à celui que l'industrie des semi-conducteurs met en œuvre sur les résistances ou les capacités à films entrant en jeu dans la constitution des circuits oscillants de très grande précision, ce qui explique la désignation (*laser trimming*) utilisée. Il deviendrait ainsi possible de réaliser des filtres à bande étroite ultra-homogènes (c'est-à-dire dont la longueur d'onde centrale serait identique à une valeur donnée sur la totalité de la surface du composant) ou des filtres variables dits « en marches d'escalier » (c'est-à-dire des filtres dont les variations spatiales de la longueur d'onde centrale présenterait, dans une direction donnée de l'espace, une succession de paliers de valeurs régulièrement croissantes.)

Une étude théorique complète menée par Julien Lumeau dans le cadre de sa thèse (Bourse CNRS-Région 2001-2004) a permis de valider la faisabilité de principe de cet ajustement *a posteriori* et de quantifier notamment les effets liés aux surintensités du champ dans le *spacer* et à l'absorption des matériaux à la longueur d'onde de *trimming*.

Pour aborder une démonstration expérimentale de ce concept, il nous était nécessaire d'identifier et de tester les **matériaux photosensibles** pouvant entrer dans la composition de tels filtres à bande étroite (notamment au niveau de leur *spacer*), et donc de développer un **banc de mesure** spécifique, qui permette de caractériser la loi de comportement des matériaux retenus, c'est-à-dire leur variation d'indice en fonction de la fluence produite par une source lumineuse d'ajustement. Cependant, comme deux configurations de filtres bande étroite pouvaient être *a priori* envisagées, à savoir les filtres tout diélectrique (où le *spacer* est, comme les miroirs, réalisé par dépôt), et les filtres à cavités-substrats, où le *spacer* est cette fois-ci constitué par une lame fine transparente (cf. paragraphe VIII.5.4.2), susceptible d'être insolée avant dépôt, la structure du banc de mesure que nous avons développé (cf. Figure 1) a été choisie de manière à pouvoir mettre en évidence de très faibles variations d'indice (typiquement 10^{-6}) aussi bien dans le *spacer* de filtres à bande étroite que dans le volume de lames transparentes d'épaisseur comprise entre 50 μm et 5 mm.

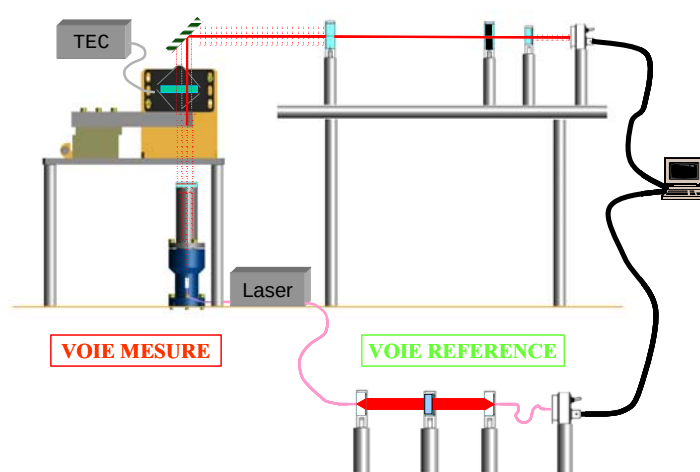


Figure 1 – Banc de caractérisation de la photosensibilité

Dans ce montage, le flux lumineux délivré par une source laser, accordable par pas de 10 pm sur la bande C des télécommunications optiques (1520 – 1570 nm), est collimaté à l'aide d'une lentille de focale adaptée (120 mm) et adressé vers l'échantillon à caractériser au travers d'un trou de faible diamètre (entre 0,1 mm et 1 mm suivant la résolution spatiale recherchée) rendu solidaire d'une platine motorisée de translation 2 axes. Le flux lumineux transmis par cet ensemble est ensuite détecté par une photodiode InGaAs dont le courant de sortie est amplifié, numérisé sur 16 bits et enregistré par un PC au travers d'une carte d'interface dédiée. De manière à s'affranchir des dérives possibles de ce montage, la longueur d'onde d'émission de la source est déterminée en temps réel à l'aide d'une voie de référence incorporant un étalon Fabry-Perot scellé ultrastable, tandis que la température de l'échantillon est régulée à mieux que 0,1°C à l'aide d'un dispositif TEC à effet Peltier.

L'utilisation de ce montage à des fins de caractérisation de la photosensibilité d'un matériau passe tout d'abord par l'enregistrement des variations spectrales de la transmission de l'échantillon en fonction de la longueur d'onde d'émission de la source, puis par l'ajustement d'une fonction théorique de type Airy sur ces données expérimentales (méthode des moindres carrés), ajustement qui nous permet d'accéder localement à l'épaisseur optique de notre matériau et enfin par une comparaison des cartographies d'épaisseur optique obtenues sur un même échantillon avant et après insolation. De manière à rendre possible une illumination *off line*, le support d'échantillon est en outre doté d'une interface mécanique de type trait – point – plan, qui assure la reproductibilité de son positionnement à mieux que 10 μm . La Figure 2a propose à titre d'illustration des performances de ce montage une représentation en fausses couleurs de la cartographie 51 points par 51 points d'une lame de silice dont l'épaisseur optique est comprise entre 302,200 μm et 302,420 μm . La précision d'une telle détermination est meilleure que 10^{-6} .

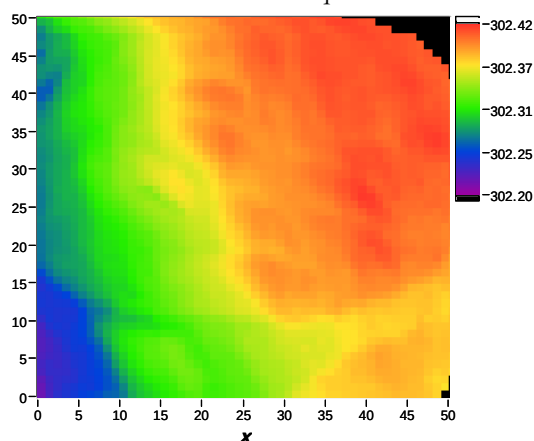


Figure 2a – Cartographie d'épaisseur optique

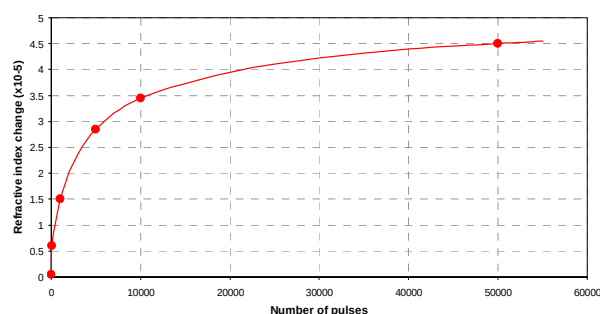


Figure 2b – Photosensibilité d'une lame de silice dopée germanium

Ce montage nous a tout d'abord permis une évaluation fine d'un ensemble de matériaux massifs, tels que des polymères utilisés pour le stockage holographique des données [PQ:PMMA – Poly(Methyl-MethAcrylate) dopé PhenanthrèneQuinone, CROP – *Cationic Ring Opening Polymer*] ou des verres de silice dopé germanium fournis en avant-première par le département Matériaux de Corning (cf. Figure 2b). Dans ce dernier cas, l'insolation a été réalisée à l'aide d'un laser KrF mis à notre disposition par le Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques (LP3) à Luminy. Nous avons également entrepris la fabrication et la caractérisation de couches minces produites par pulvérisation par faisceau d'ions d'une cible de Silice co-dopée Germanium (20%), Bore (9%) et Sodium (20%) et approvisionnée auprès du *Politecnico di Torino* [Département Science des Matériaux et Ingénierie Chimique, équipe de Monica Ferraris]. Le développement de ces cibles avait à l'origine pour objectif le dépôt de couches photosensibles permettant la fabrication de guides d'onde par inscription directe laser. Le choix des dopants et de leur concentration permet d'optimiser la photosensibilité de la couche obtenue en fonction du procédé de fabrication adopté. Des variations d'indice aussi importantes que 0,03 semblent accessibles. Toutefois, à ce jour, les résultats que nous avons pu obtenir restent relativement décevants (constitution inadaptée ou stabilité temporelle insuffisante dans le cas des polymères, variation d'indice trop faible dans le cas de la silice dopée, que ce soit en matériau massif ou en couches minces). Le financement d'un post-doctorant par le CNRS sur une durée de 12 mois à compter du 1^{er} octobre 2006 et consacré à cette thématique va nous permettre de reprendre et de prolonger ces premières tentatives (amplification de la collaboration avec le *Politecnico di Torino*, développement de procédés de dépôt par co-évaporation ou co-pulvérisation de matériaux purs, essai de nouvelles substances polymères utilisées pour l'inscription directe de guides optiques).

VIII.3.2. Propriétés thermo-optiques et opto-mécaniques des matériaux en couches minces

Pour décrire le comportement des filtres optiques interférentiels soumis à des sollicitations d'origine mécanique (par exemple, un effort transverse uniforme) ou thermique (telle qu'une élévation de température homogène), nous avons développé un modèle simple, basé sur l'expression des lois de l'élasticité et sur une hypothèse d'adhésion parfaite des couches à la surface du substrat. Ainsi, la sensibilité thermique de la longueur d'onde centrale λ d'un filtre bande étroite peut être décrite par une expression du type :

$$\frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} + \beta - \frac{\alpha - \beta}{1 - \nu_f} \left\{ 2\nu_f + \frac{n_{eff}^2}{2} \left[(1 - \nu_f)p_{11} + (1 - 3\nu_f)p_{12} \right] \right\}$$

où n désigne l'indice de réfraction du spacer, α son coefficient de dilatation thermique, β celui du substrat, ν_f (respectivement n_{eff}) le coefficient de Poisson (respectivement l'indice effectif) de la couche équivalente à l'empilement, et p_{11} / p_{12} les coefficients du tenseur élasto-optique associé à cette même couche équivalente.

Toutefois, la mise en œuvre de ce modèle suppose que soient connues les valeurs prises par les différents paramètres physiques listés plus haut, ce qui est loin d'être aujourd'hui le cas et conduit par défaut à employer celles du matériau massif correspondant. En outre, l'approximation de la couche équivalente donne de très bons résultats lorsque l'on s'intéresse par exemple à la sensibilité thermique du filtre au voisinage de la température ambiante, mais elle ne permet pas de prédire le domaine d'utilisation du filtre, c'est-à-dire la plage de température à l'intérieur de laquelle les performances de ce filtre se trouveront garanties.

C'est pour cette raison que nous avons débuté une thèse sur cette thématique en 2004 (Sébastien Michel, Bourse MEN 2004-2007), avec pour principal objectif de déterminer les valeurs de ces différents paramètres pour les matériaux en couches minces les plus fréquemment utilisés (Silice SiO_2 , Pentaoxyde de Tantale Ta_2O_5). La méthode que nous avons retenue consiste à déposer une monocouche de quelques centaines de nanomètres sur la partie centrale d'un substrat, puis à utiliser deux échantillons de la structure ainsi obtenue comme éléments d'une cavité Fabry-Perot (cf. Figure 3a).

Un faisceau collimaté de lumière polychromatique (Diode Super Radiante) est alors utilisé pour sonder la zone centrale de la structure d'épreuve, tandis que 3 faisceaux de référence de directions identiques à celui du faisceau de mesure vont permettre de caractériser, pour la même température, le comportement intrinsèque des deux substrats en regard (cf. Figure 3b). Les faisceaux transmis par la structure d'épreuve sont filtrés (pour chaque faisceau, on isole un ordre de transmission du Fabry-Perot correspondant), puis adressés vers un lambdamètre à réseau échelle (résolution de l'ordre du picomètre). La comparaison des réponses de la voie de mesure et des trois voies de référence pour différentes températures et différents substrats de coefficients de dilatation linéaires β variés permet de remonter, avec une précision relative attendue meilleure que 10%, au coefficient de Poisson ν_f de la couche, ainsi qu'à son coefficient de dilatation thermique α . Des montages similaires associant sollicitations thermiques et contraintes mécaniques seront ensuite employés pour déterminer les autres paramètres physiques de la monocouche ($1/n \cdot \partial n / \partial T$, p_{11} / p_{12}).

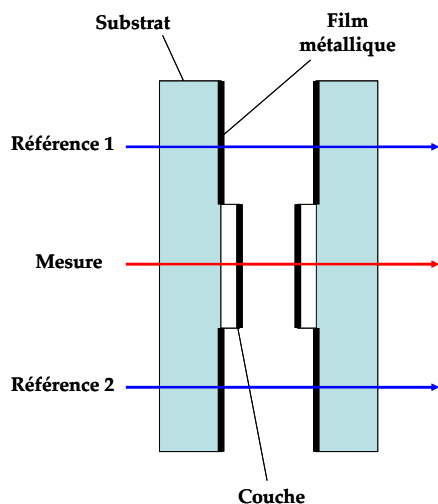


Figure 3a – Structure d'épreuve

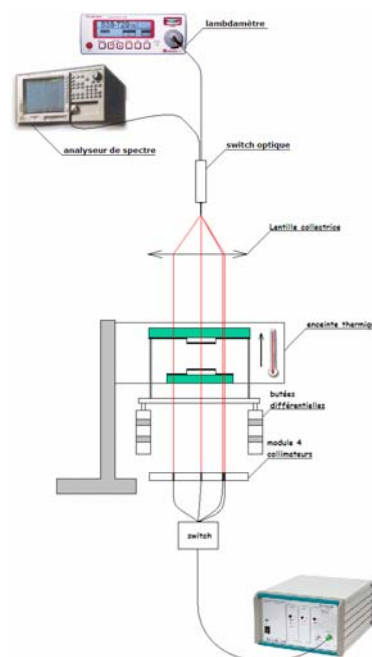


Figure 3b – Système de mesure

Compte tenu des résolutions ultimes recherchées (modifications d'épaisseur optique de l'ordre de quelques picomètres), un simulateur informatique de la manipulation a été développé sous Labview, afin de pouvoir tester la validité de l'approche, l'influence des paramètres perturbateurs et la robustesse au bruit des algorithmes utilisés pour le traitement des données et l'extraction des informations utiles.

Grâce à ce montage, dont le développement devrait être achevé en septembre 2006, il sera non seulement possible d'évaluer l'écart entre matériau massif et matériau en couche mince, mais aussi de mettre en évidence l'influence du procédé de dépôt sur les valeurs des différents paramètres physiques définis plus haut.

VIII.3.3. Matériaux nano-composites

Cette activité de recherche est menée au travers d'une thèse en co-tutelle (Jean-Michel Lamarre, 2003-2007) conclue entre l'Institut Fresnel et l'Ecole Polytechnique de Montréal [GCM – Groupe de recherche en physique et technologie des Couches Minces]. Elle a pour objectif de fabriquer par pulvérisation magnétron DC-RF et recuit à haute température (600 à 900°C) des couches minces de nano-composites métal:diélectrique (tels que Au:SiO₂). Ces couches nano-composites sont en effet susceptibles d'être utilisées comme interrupteurs optiques ou comme senseurs biochimiques. La particularité des couches nano-composites Au:SiO₂ développées avec EPP-GCM est qu'elles sont en fait constituées de *nanorods* d'or (cf. Figure 4a), obtenus par déformation orientée des nanosphères initialement présentes dans la couche à l'aide d'un faisceau énergétique d'ions cuivre (30 MeV, 10¹⁴ ions/cm²).

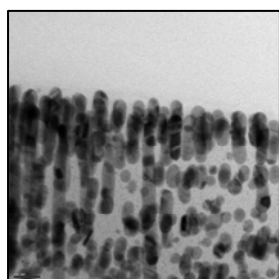
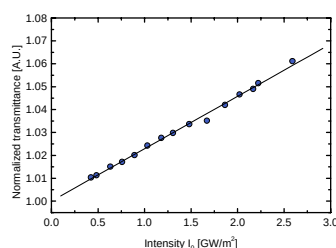
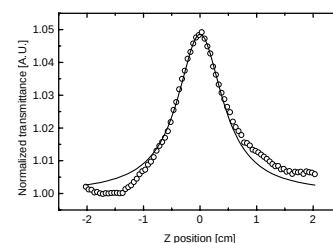


Figure 4a – Nanorods d'or

Figure 4b – Courbe *P-scan*Figure 4c – Courbe *Z-scan*

Le comportement optique anisotrope de ces monocouches a été étudié en régime linéaire [résonances plasmons de surface mis en évidence par spectrophotométrie et ellipsométrie] et non linéaire [absorption et variation d'indice non linéaires quantifiées en régime nanoseconde grâce à l'utilisation conjointe de méthodes *P-scan* et *Z-scan* (cf. Figures 4b et 4c) et à la mise en œuvre de bancs de métrologie non linéaire développés par l'équipe MAP² (Milieux Aléatoires et Photonique de Puissance) de l'Institut Fresnel]. Nos objectifs immédiats visent à étudier, toujours dans le cadre de cette thèse, l'influence du métal (remplacement de l'or par de l'argent) et celui de la matrice hôte (remplacement de la silice par du Ta₂O₅).

VIII.4. Technologies

VIII.4.1. Banc de mesure locale R&T

Le développement de ce banc spécifique a été effectué dans le cadre des travaux de thèse de Laetitia Abel-Tiberini (Bourse MEN 2002-2005) et a rendu possible tout d'abord la détermination des paramètres géométriques de la plume d'évaporation de l'un de nos bâtis d'évaporation, puis la caractérisation et l'optimisation de l'uniformité de filtres à bande étroite, et enfin le développement et le contrôle de filtres linéairement variables (cf. paragraphe VIII.5.2). Il est en outre aujourd'hui utilisé pour le contrôle préliminaire de filtres allumettes (cf. paragraphe VIII.5.3).

La structure de ce banc est représentée de manière schématique à la Figure 5. Le flux délivré par une source à spectre large (lampe quartz-halogène) est couplé dans une fibre optique multimode de 200 μm de diamètre de cœur dont l'extrémité est placée au foyer objet d'un doublet achromat. Le flux collimaté qui en résulte est focalisé à l'aide d'un second achromat au niveau d'une roue à filtres dont les logements sont équipés de diaphragmes de diamètres variés (entre 2 mm et 0,05 mm). La distance entre ces deux systèmes optiques est rendue égale à la somme de leurs distances focales afin de garantir à l'ensemble un fonctionnement de type télécentrique. L'extrémité de la fibre est ainsi imagée avec un fort grandissement (typiquement 10) sur la face d'entrée du diaphragme sélectionné : compte tenu des dimensions de l'image de la fibre (de l'ordre de 2 mm), c'est le choix du diaphragme qui va fixer les dimensions du point lumineux ainsi créé. Celui-ci est ensuite imagé avec un grandissement unitaire à la surface de l'échantillon à l'aide d'un système télécentrique de même structure que celui précédemment décrit (les deux achromats sont simplement ici identiques). Le flux lumineux transmis par cet échantillon est ensuite recouplé dans une fibre optique de 400 μm de diamètre de cœur à l'aide d'un système optique identique à celui utilisé en amont du diaphragme.

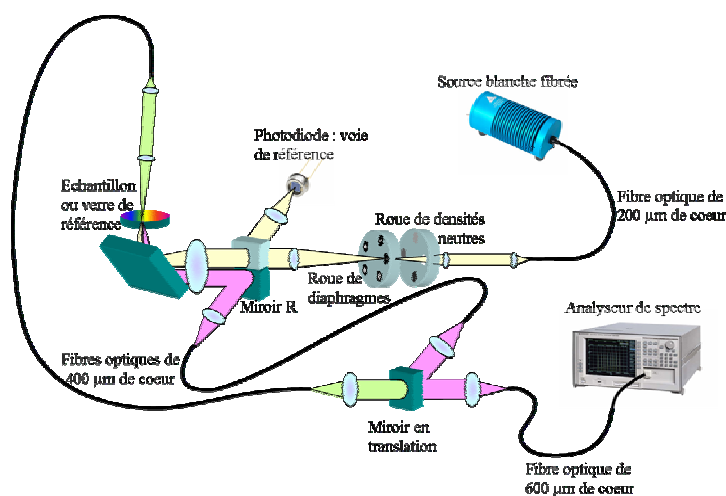


Figure 5 – Banc de mesure locale R&T

Le flux incident présente par rapport à la normale à l'échantillon un faible angle (2°), de manière à rendre possible la récupération du flux lumineux réfléchi avec un système optique distinct de celui utilisé sur la

voie transmise, mais de même constitution. Un commutateur 1x2 à miroir mobile motorisé permet enfin de choisir quelle voie sera raccordée à un analyseur de spectre optique ANDO AQ-6315A (domaine spectral 400 – 1700 nm, double monochromateur, résolution ultime 50 pm) au travers d'une fibre optique de 600 μm . Afin de s'affranchir des dérives éventuelles de la source, une partie du flux lumineux délivré par le diaphragme de mise en forme est prélevé par une lame séparatrice et mesuré par une photodiode spécifique (voie de référence). Le diamètre de la zone d'analyse à la surface de l'échantillon est donc variable et défini par le choix du diaphragme de filtrage, tandis que la divergence du faisceau de mesure est fixe et définie par la divergence de la fibre divisé par le rapport de grandissement de l'optique de tête (la valeur résultante est ici de l'ordre du degré). Le substrat en cours de test est en outre rendu solidaire de deux platines de translation motorisées d'axes croisés, qui permettent de sélectionner la zone de mesure à la surface de l'échantillon et de réaliser ainsi des cartographies détaillées de ses propriétés optiques.

Dans la mesure où ce montage donne accès en chaque point d'un échantillon aux spectres de transmission et de réflexion sur un large domaine spectral, il nous sera donc possible d'en déduire la valeur locale de l'épaisseur d'une monocouche ainsi que la dépendance spectrale des parties réelles et imaginaires de son indice de réfraction. La Figure 6a présente à titre d'illustration de ce type d'application une cartographie de l'épaisseur optique d'une monocouche de dioxyde d'hafnium déposée à la surface d'un substrat de silice. Les variations crête à crête de cette épaisseur sont de 1,2 nm pour une valeur moyenne de 189,5 nm (précision de détermination 0,1 nm).

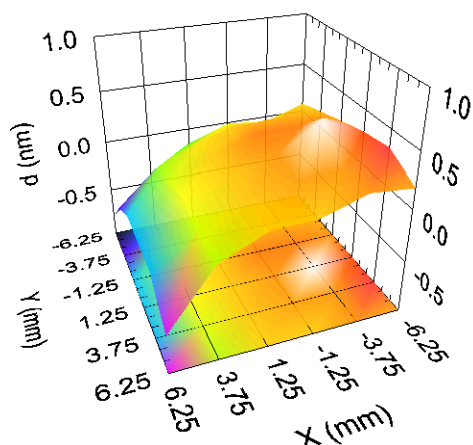


Figure 6a – Cartographie d'épaisseur optique d'une monocouche de dioxyde d'hafnium

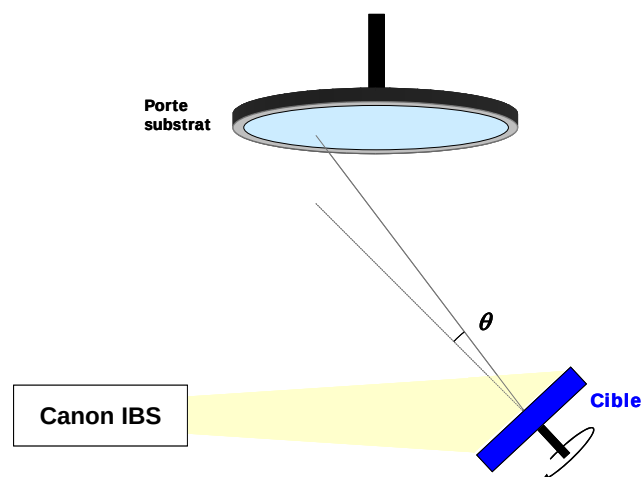


Figure 6b – Caractérisation du procédé IBS

Ce procédé de cartographie d'épaisseur a été ensuite appliqué à la détermination des paramètres géométriques de la plume d'évaporation générée par la pulvérisation d'une cible plane à l'aide d'un faisceau d'ions énergétiques (cf. Figure 6b – IBS, *Ion Beam Sputtering*). Ces paramètres sont essentiellement l'angle θ entre la direction principale de la plume et la normale à la cible, la directivité de l'émission de matière (quantifiée par l'exposant n d'une indicatrice angulaire en $\cos^n \alpha$) et enfin le caractère localisé de cette même émission à la surface de la cible (supposée décrite par une loi gaussienne et quantifiée par le rapport d'intensité entre bord et centre de la cible). Cette détermination a nécessité l'arrêt de la rotation du porte-substrat et la fixation à sa surface d'une lame de verre de grandes dimensions (180x240 mm²), dont l'indice de réfraction est différent de celui du matériau dont on cherche à caractériser l'indicatrice. Nous avons ainsi pu mettre en évidence les disparités de comportement de deux matériaux très usuels, à savoir la silice (obtenue par pulvérisation d'une cible en silicium sous atmosphère réactive d'oxygène et qui présente une direction principale d'évaporation quasi spéculaire associée à une zone d'émission de type ponctuel) et le pentoxyde de

tantale (obtenu par le même type de procédé, mais avec des ions de plus forte énergie, et qui présente à l'inverse une direction principale d'évaporation proche de la normale à la cible de tantale et une contribution significative de l'ensemble de la surface de cette cible à la génération de matière). La connaissance de ces paramètres nous a alors permis de mettre à profit notre modèle théorique du procédé de dépôt (cf. paragraphe VIII.2) pour déterminer les conditions géométriques conduisant, pour un filtre à bande étroite, à une uniformité optimale (soit 99,83% sur 25 mm de diamètre).

VIII.4.2. Contrôle *in situ* large bande R&T

Comme nous l'avons mentionné en introduction de ce rapport, tous nos bâtis d'évaporation sont équipés d'un dispositif de contrôle optique *in situ* de l'épaisseur des couches déposées. La disponibilité d'un tel moyen est en effet absolument nécessaire à la fabrication de filtres interférentiels à hautes performances, notamment en bande étroite. La méthode habituellement utilisée (méthode dite DTE – Dérivée de la Transmission par rapport à l'Épaisseur) consiste à mesurer l'évolution de la transmission de l'empilement au cours de sa réalisation à des longueurs d'onde définies pour chaque couche lors de la synthèse du filtre et à arrêter le dépôt de celle-ci lorsque s'annule la dérivée de ce signal par rapport à l'épaisseur (et donc au temps, à vitesse de dépôt constante). Cette méthode est particulièrement efficace dans le cas mentionné plus haut des filtres à bande étroite, qui sont constitués d'un empilement de couches alternées haut et bas indice, toutes quart d'onde à la longueur d'onde λ_0 de centrage du filtre, et pour lesquels la longueur d'onde de contrôle λ_c est la même pour toutes les couches et identique à λ_0 . On peut en effet montrer que, dans ce cas, ce mode particulier de pilotage du dépôt assure une correction automatique des erreurs résiduelles de fabrication (l'épaisseur effective de la couche $n+1$ définie par cette méthode est affectée par l'erreur de réalisation de la couche n et en compense les impacts).

Il existe toutefois un ensemble de cas pour lesquels cette méthode se révèle soit d'efficacité moindre (notamment, les filtres anti-reflets ou dichroïques), soit plus simplement impossible à mettre en œuvre de manière directe (par exemple, les absorbeurs de lumière métal-diélectrique). C'est la raison pour laquelle nous avons entrepris de développer en 2004 un nouveau système de contrôle optique qui permette de s'affranchir de l'ensemble de ces limitations [Thèse de Bruno Badoil, Bourse CNRS Région 2004-2007], et ait pour principaux objectifs d'être à la fois temps réel (signaux utiles acquis à chaque tour du porte-substrat durant le passage de l'échantillon dans le faisceau), large bande (domaine spectral 400 - 1000 nm) et réalisé de manière synchrone en transmission et en réflexion (pour le rendre notamment compatible avec le dépôt de couches métalliques absorbantes). La Figure 7a représente de manière schématique l'ensemble du montage que nous avons développé, intégré sur notre machine BAK800 (bâti d'évaporation classique avec assistance par plasma) et qualifié (d'un point de vue à la fois métrologique et opérationnel). La structure de ce montage est analogue à celle du banc de mesure locale R&T décrit au paragraphe précédent. Le grandissement du système optique de tête est toutefois plus important (environ 40) de manière à obtenir une zone éclairée de 8 mm de diamètre à la surface du substrat sur lequel le filtre est déposé. Les flux lumineux réfléchis et transmis par cet ensemble sont ensuite couplés sur des fibres multimodes de plus fort diamètre (typiquement 550 microns) à l'aide de systèmes optiques de même nature mais de grandissement moindre. La récupération du flux réfléchi nécessite en outre l'introduction d'une lame séparatrice 50/50 entre les deux achromats inférieurs, le dernier port de cette lame étant utilisé pour mesurer à tout instant l'intensité globale du flux incident et s'affranchir ainsi des dérives de puissance de la source. L'analyse spectrale des flux réfléchis et transmis est enfin réalisée à l'aide de spectromètres statiques à réseaux de photodiodes faible bruit (temps d'intégration 50 ms).

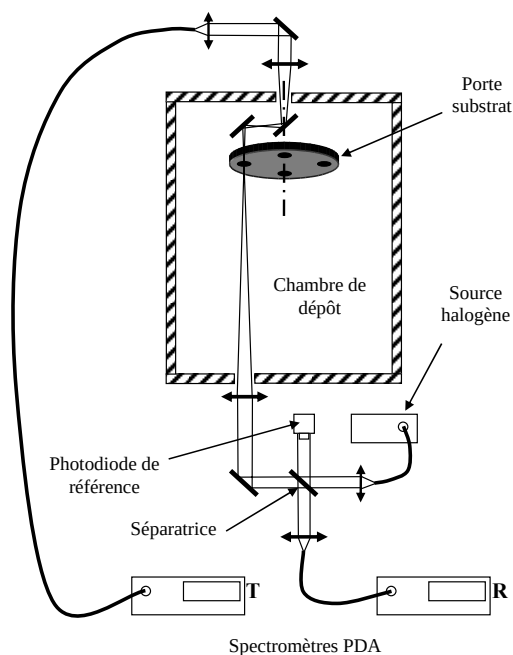


Figure 7a – Système de contrôle large bande R&T

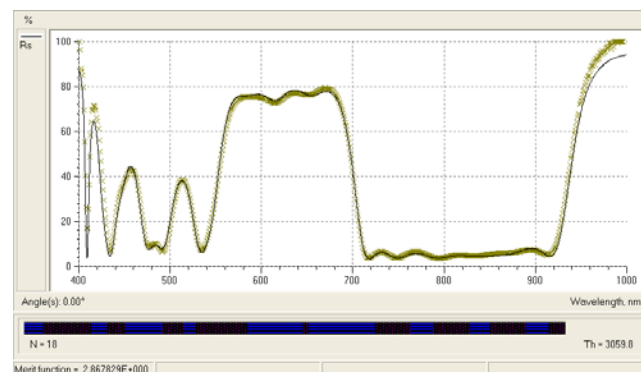


Figure 7b – Filtre dichroïque MOSAIC-CARS

Ces différentes caractéristiques (télécentrisme, grandissement résultant supérieur à l'unité, diamètres respectifs des fibres, structure cataphote de la voie réfléchie, emploi d'une voie de référence et de détecteurs de type PDA) ont été choisies de manière à garantir en toutes circonstances une répétabilité des mesures optimale durant le temps d'un dépôt (de l'ordre de 0,1% en réflexion et de 0,04% en transmission). Au niveau traitement des données, nous avons analysé et comparé de manière théorique les performances de différents modes de pilotage du dépôt et finalement sélectionné celui qui permet de déterminer à chaque instant les caractéristiques instantanées de la couche en cours de fabrication et donc d'arrêter l'évaporation d'un matériau lorsque l'épaisseur optique de cette couche a exactement atteint la valeur requise.

Ce système a d'ores et déjà été utilisé pour réaliser des absorbeurs de lumière large bande (cf. paragraphe VIII.5.1) et des traitements dichroïques adaptés aux exigences d'expériences de microscopie CARS réalisées par l'équipe MOSAIC de l'Institut Fresnel (le spectre de réflexion obtenu est présenté à la Figure 7b, avant traitement anti-reflets de la face arrière du substrat).

VIII.4.3. Etude expérimentale des effets du passage air-vide

Cette étude expérimentale s'est déroulée d'une part en 2004-2005 sous contrat CNES et d'autre part en 2005-2006 sous financement ESA, dans le cadre d'une coopération avec la société SESO. Dans la première étude, nous nous sommes intéressés à la mesure à très haute résolution du décalage, lors de transitions air-vide-air, de la longueur d'onde centrale de deux filtres bandes étroites (Filtre tout diélectrique de structure Substrat/M19 2B M19/Air, filtre à cavité-substrat de structure Air/M5 184B M5/Air, où Mk désigne des miroirs comprenant k couches quart d'onde alternées haut et bas indice). Les mesures réalisées ont permis d'établir une preuve définitive de l'absence décelable de décalage (< 2 pm) dans le cas d'un procédé de dépôt très énergétique de type pulvérisation et assistance par faisceau d'ions (DIBS). Dans la deuxième action, nous avons participé au développement d'un outillage générique adapté à la qualification de traitements optiques multicouches destinés à des applications spatiales (métallisations protégées, lames semi-réfléchissantes, traitements antireflets, filtres bande étroite), et qui permet, sous vide ou à pression atmosphérique, de réaliser

l'étude de leur comportement optique dans une large gamme de température ($-65^{\circ}/+80^{\circ}\text{C}$) et l'analyse par spectrométrie de masse des éventuels produits de dégradation.

VIII.5. Composants

VIII.5.1. Absorbeurs de lumière

On désigne par absorbeurs de lumière des traitements diélectrique/métal qui peuvent être apposés sur des substrats de nature variées pour réduire de manière drastique leur coefficient de réflexion ou leur albédo (l'absorption de ces revêtements peut dépasser 99,9%), et qui présentent par rapport aux peintures classiquement utilisées des avantages importants en termes de faible épaisseur et de tenue aux environnements climatiques. Nous avons ainsi réalisé sous contrat SODERN des traitements absorbeurs monochromatiques (852 nm) destinés au Dispositif Anti Lumière Parasite de l'horloge atomique PHARAO : il s'agit de baffles en titane sur lesquels nous avons déposé une alternance de couches Hf métal/ SiO_2 , permettant d'atteindre une réflexion inférieure à 0,1% sous faible incidence et à 1% en faisceau ouvert d'incidence inférieure à 45° . Ces traitements ont passé avec succès l'ensemble des tests de qualification spatiale. Pour accroître la largeur de la bande spectrale sur laquelle ces absorbeurs présentent l'efficacité requise, nous avons mis à profit les potentialités du système de contrôle R&T décrit au paragraphe VIII.4.2 : celui-ci nous a en effet permis de mesurer, sans retour à l'atmosphère, les spectres de transmission et de réflexion d'une fine couche métallique d'hafnium, tout d'abord seule, puis recouverte d'une couche de matériau diélectrique (SiO_2) et de déterminer ainsi la dépendance spectrale des parties réelle et imaginaire de l'indice de réfraction de cette couche métallique. Ces études nous ont également permis de mettre en évidence son inhomogénéité, ainsi que son oxydation partielle au début du dépôt de la couche diélectrique. En tenant compte de l'ensemble de ces données expérimentales extrêmement fines dans le design de l'empilement metal-diélectrique, nous avons pu ainsi réaliser, à notre connaissance pour la première fois au monde, des traitements absorbeurs très large bande à hautes performances ($R < 0,5\%$ sur la gamme 450 nm – 950 nm, cf. Figure 8).

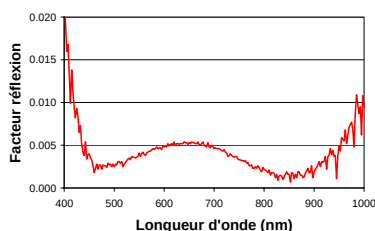


Figure 8 – Absorbeur large bande Hf/ SiO_2



Figure 9a – Filtre variable à lignes iso- λ rectilignes

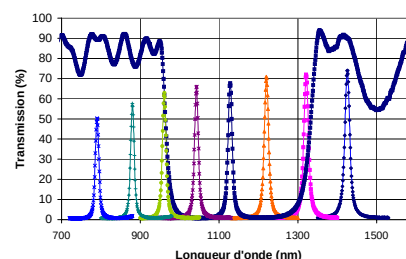


Figure 9b – Spectres de transmission d'un filtre linéairement variable

VIII.5.2. Filtres linéairement variables

Les filtres linéairement variables sont des composants de filtrage de type passe-bande pour lesquels la longueur d'onde de centrage du filtre évolue de manière linéaire le long d'une direction privilégiée (cf. Figure 9b). Nous avons entrepris en 2003 le développement de filtres linéairement variables de type 2D, c'est-à-dire pour lesquels la longueur d'onde centrale reste en outre parfaitement constante dans la direction perpendiculaire au gradient (cf. Figure 9a). Associé à une matrice de photo-détecteurs, un tel composant permet en effet de réaliser un spectro-imageur de très faible encombrement. Les principales contraintes associées à une telle application portent sur la performance intrinsèque du filtre (transmission au sommet, largeur spectrale), sur la linéarité du gradient de longueur d'onde, sur l'uniformité de la performance dans la direction perpendiculaire à ce gradient et enfin sur l'efficacité des blocages sur la totalité du domaine spectral couvert par ce filtre. Dans le cadre de la thèse de Laetitia Abel-Tiberini, nous avons obtenu un ensemble de performances en très bon accord avec les exigences du besoin, à savoir une transmission intrinsèque

supérieure à 75% pour une finesse spectrale de 100, un gradient linéaire de 44,7 nm/mm et une uniformité dans l'axe perpendiculaire meilleure que 99,8%. Les aspects blocage seront traités de manière spécifique en 2006-2007. L'ensemble de ces travaux a bénéficié du soutien du LESIA et a permis de nouer une collaboration fructueuse avec l'équipe Couches Minces Optiques de l'ENEA à Rome (Responsable Angela Piegari). La qualité des résultats obtenus est à l'évidence directement liée aux résultats de certains des développements théoriques et technologiques que nous avons présentés aux paragraphes précédents (Modélisation des indicatrices d'évaporation, Banc de mesure locale R&T, Détermination des paramètres géométriques des indicatrices de dépôt).

VIII.5.3. Filtrés allumettes

Nous avons débuté en mars 2006 une étude technologique visant à identifier la procédure de fabrication optimale de filtres dits allumettes, qui sont constitués par la juxtaposition, sur un même substrat, de zones traitées de forme rectangulaire très allongée (typiquement 0,1 mm par 100 mm), séparées par des intervalles de taille millimétrique recouverts d'absorbeurs de lumière. De tels filtres allumettes constituent les composants clés des futurs systèmes spatiaux d'observation, pour lesquels le nombre de bandes spectrales d'intérêt augmente de manière constante (imagerie hyperspectrale à 15 canaux, par exemple). Ces travaux de recherche sont menés dans le cadre de la thèse de Marie Duchêne (Bourse CIFRE 2006-2009 avec CILAS-Marseille).

VIII.5.4. Filtrés à bande étroite

Nos travaux dans ce domaine ont essentiellement porté sur le développement de filtres hybrides et de filtres à cavités-substrats, notamment accordables.

VIII.5.4.1. Filtrés hybrides

Les filtres dits hybrides associent un réflecteur distribué de type réseau de Bragg inscrit dans le volume d'un substrat photosensible et un miroir diélectrique classique constitué par une alternance de couches quart d'onde haut et bas indice, déposées sur l'une des faces de ce substrat. La structure d'un tel filtre peut donc être représenté par le profil d'indice donné à la Figure 10a (dans cette figure, VBG désigne le réseau de Bragg en volume, DM le miroir diélectrique et ML une couche d'adaptation ou *Matching Layer* qui permet de réaliser l'accord de phase entre ces deux structures réfléchissantes). La condition de résonance a en effet ici pour expression :

$$\left[2\pi \frac{L}{\Lambda} + \phi \right] + 2\pi \frac{2ne}{\lambda_0} + \varphi_{DM}(\lambda_0) = 0 [2\pi]$$

où L désigne la longueur du réseau de Bragg, Λ sa période, ϕ la phase à l'origine de la modulation d'indice qui lui correspond, ne l'épaisseur optique de la couche d'adaptation et φ_{DM} le déphasage accumulé lors de la réflexion sur le miroir diélectrique. Le respect de cette condition de résonance est donc tributaire de la valeur prise par l'épaisseur optique de la couche d'adaptation.

Nous avons entrepris en 2003 une validation expérimentale de ce concept, dont nous avons mené l'étude théorique au cours de la période précédente, et pour ce faire, nous avons utilisé comme objet test une fibre optique monomode dans laquelle avait été préalablement inscrit un réflecteur de Bragg. Cette fibre a ensuite été clivée à l'intérieur de la zone où la modulation d'indice était présente, de manière à ce que l'épaisseur de la couche d'adaptation soit nulle avant le dépôt des couches (une épaisseur résiduelle de l'ordre du millimètre aurait en effet conduit à des résonances de largeur inférieure à 10 pm, valeur ultime accessible à l'aide de nos moyens de mesure actuels).

L'obtention d'une transmission maximale au sommet de la résonance a donc été obtenue :

- en faisant précéder le dépôt du miroir diélectrique par celui d'une couche d'adaptation en YF_3 , d'indice comparable à celui de la fibre,

- en choisissant en temps réel le nombre d'alternances du miroir diélectrique ZnS/YF₃ (à savoir 9), de manière à équilibrer au mieux les coefficients de réflexion des deux structures.

Le point clef de cette démonstration expérimentale résidait donc dans notre capacité à contrôler *in situ* l'épaisseur des couches déposées et à mesurer à tout instant le coefficient de réflexion effectif du filtre hybride en cours de construction. Nous avons dans ce but développé un système de contrôle entièrement spécifique associant un laser accordable entre 1520 et 1570 nm par pas de 10 pm, et un passage étanche à fibre optique monomode qui permettait de se raccorder sur le composant installé dans le bâti pour traitement et de mesurer en temps réel l'évolution de son coefficient de réflexion au voisinage de la résonance.

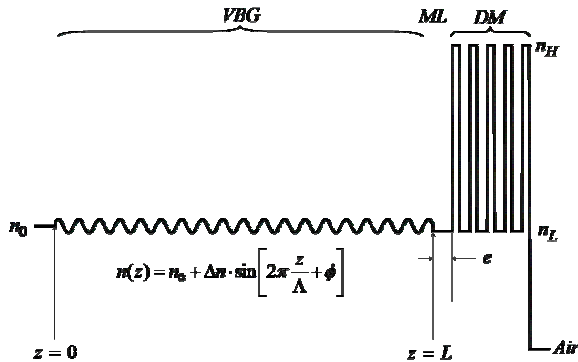


Figure 10a – Profil d'indice d'un filtre hybride

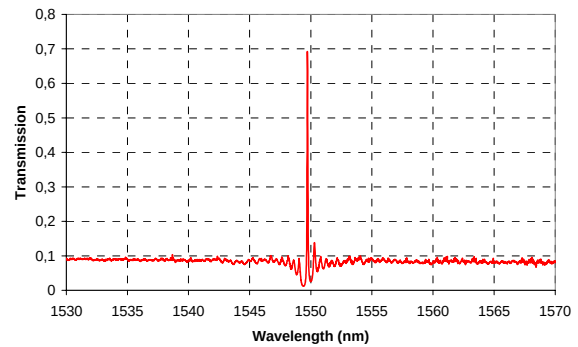


Figure 10b – Transmission spectrale d'un filtre hybride FBG/DM à 9 couches

Grâce à la mise en œuvre de cette méthode et d'une modélisation préalable de l'ensemble des signaux de contrôle, nous avons pu obtenir un filtre bande étroite (largeur à mi-hauteur 80 pm) centré à 1549,6 nm, de 70% de transmission maximale et présentant une réjection meilleure que -10 dB sur une bande spectrale de largeur supérieure à 100 nm (cf. Figure 10b).

La démonstration en espace libre de ce concept n'a pu être pour l'instant obtenue, pour des raisons essentiellement liées à la qualité du parallélisme qui doit être assurée entre la direction des plans réticulaires du réseau de Bragg et la face traitée du substrat photosensible. Nous avons toutefois initié dans ce but une collaboration avec le laboratoire de Leonid Glebov à CREOL (*Photoinduced Processing Lab*), qui a développé un matériau photo-thermo-réfractif (PTR) présentant des caractéristiques de performances et d'usage en accord avec les contraintes de notre application.

VIII.5.4.2. Filtres à cavités-substrats

On désigne par filtre à cavité-substrat un composant de filtrage bande étroite construit autour d'un Fabry-Perot état solide (SSE, *Solid Spaced Etalon*), c'est-à-dire d'une lame transparente de grande qualité (épaisseur comprise entre 20 μm et 2 mm, très faible rugosité, parallélisme inférieur à la seconde d'arc) dont les deux faces sont recouvertes par des miroirs diélectriques à faible nombre de couches (typiquement moins d'une dizaine). La finesse de la bande est donc majoritairement fournie par l'ordre élevé d'interférences dans la cavité, tandis que la réjection en dehors de la bande est elle basée sur l'association en série de 2 ou 3 lames d'épaisseurs optiques différentes et sur le phénomène d'auto-filtrage auquel cette mise en série donne accès.

Dans le cadre de la thèse de Johan Floriot (Bourse CIFRE 2001-2004 avec CILAS-Marseille), nous avons mis au point un procédé de fabrication de ces filtres SSE cascades, qui met en jeu les différentes étapes listées ci-après :

- Approvisionnement de lames d'épaisseur adaptées à l'application visée (épaisseur légèrement inférieure à la valeur spécifiée, tolérance de réalisation de l'ordre du micron, parallélisme meilleur que la seconde d'arc),

- Mesure de l'épaisseur optique effective de ces lames à l'aide du montage présenté au paragraphe VIII.3.1
- Ajustement de l'épaisseur optique effective de chacune des lames à la valeur spécifiée par le design par dépôt d'une couche d'épaisseur adaptée (tolérance d'ajustement de quelques nanomètres)
- Dépôt des miroirs de part et d'autre des lames, avec ajout sur l'une des faces d'une couche de passage d'épaisseur demi-quart d'onde
- Assemblage des deux cavités par adhérence moléculaire réalisée au travers des deux couches demi-quart d'onde

Si les matériaux constitutifs de ces lames présentent en outre des coefficients de dépendance thermique de leurs épaisseurs optiques suffisamment différents (tels que la silice et le silicium), cette même procédure de fabrication peut être appliquée à la réalisation des filtres accordables de manière discrète sur un large domaine spectral (phénomène de saut de coïncidences entre les deux peignes Fabry-Perot généré par une excursion en température).

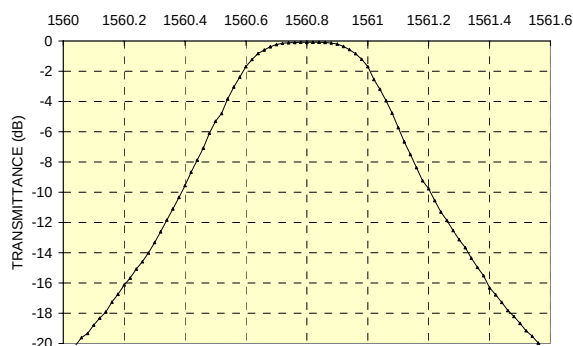


Figure 11a – Profil spectral d'un filtre DWDM 2 cavités
(-0,08 dB / 0,47 nm)

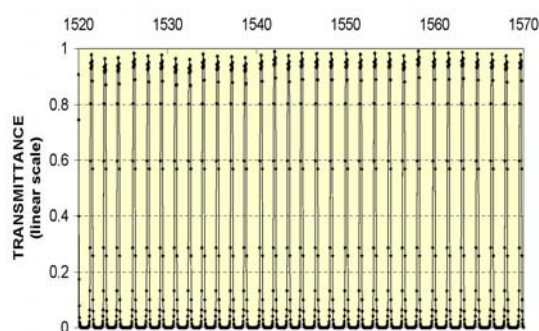


Figure 11b – Transmission spectrale d'un *interleaver*
50/200 GHz à 3 cavités (-0,1 dB / 0,26 nm / -45 dB)

Une démonstration expérimentale de l'ensemble des potentialités de cette approche (pertes d'insertion meilleures que -0,1 dB, niveau de réjection approchant les -30 dB, accordabilité discrète sur la bande C) a été obtenue par notre équipe entre 2002 et 2004, ce qui nous place au tout premier plan mondial dans ce domaine. On trouvera en Figures 11a et 11b des relevés expérimentaux correspondant à deux réalisations particulières (un filtre bande étroite 2 cavités et un *interleaver* 50/200 GHz 3 cavités).

VIII.6. Sujets transverses associés à des collaborations inter-équipes

Au cours de la période 2003-2006, nous avons également réalisé des composants spécifiques ou des activités de caractérisation expérimentales associés à des travaux de recherche pilotés par d'autres équipes de l'Institut FRESNEL. On citera notamment :

- le développement d'un cristal photonique fonctionnant dans la bande infrarouge thermique (sous maîtrise d'œuvre de l'équipe COM)
- le dépôt d'empilements antireflets et la caractérisation des filtres à réseaux résonants obtenus par gravure 2D périodique de la couche supérieure de ces empilements (sous maîtrise d'œuvre de l'équipe CLARTE)
- le développement de filtres dichroïques adaptés aux exigences de la microscopie CARS (sous maîtrise d'œuvre de l'équipe MOSAIC)
- le dépôt de couches minces de silice d'épaisseurs variées réalisées par différents procédés (évaporation classique, évaporation assistée par faisceau d'ions, évaporation assistée par plasma, pulvérisation et assistance par faisceau d'ions) pour test comparé de tenue au flux (sous maîtrise d'œuvre de l'équipe MAP2)

VIII.7. Perspectives

Dans le futur, nos efforts vont se porter majoritairement vers les actions de recherche suivantes :

- validation expérimentale du procédé de *laser trimming* (notamment grâce au post-doctorat de 12 mois que vient de nous attribuer le CNRS sur cette thématique),
- extension de cette approche à l'optimisation des propriétés de filtres optiques interférentiels par micro-usinage et photoinscription laser en régime femtoseconde (projet FESTIC sélectionné par l'ANR en 2006 dans le cadre de son programme Blanc et réunissant trois équipes de l'Institut FRESNEL [RCMO, MAP2 et CLARTE], le LP3, le LOA (X - ENSTA) et CILAS-Marseille – Durée 3 ans, Montant de l'aide 523 k€),
- étude systématique des propriétés physiques des matériaux en couches minces (avec mise en évidence de l'influence du procédé de dépôt),
- étude de l'évolution des propriétés optiques du matériau constitutif d'une couche mince au cours de sa croissance (conduisant à la quantification de son inhomogénéité par détermination du profil vertical d'indice dans la couche),
- extension au domaine infrarouge proche du système de contrôle optique in situ large bande,
- développement d'empilements multicouches à tenue au flux optimisé (en collaboration avec l'équipe MAP2)
- réalisation de filtres linéairement variables représentatifs d'applications embarquées et intégrant notamment les contraintes de blocage (LESIA, ESA/Galileo Avionica/ENEA),

- démonstration en espace libre du concept de filtre hybride (en collaboration avec le *Photoinduced Processing Laboratory* à CREOL),
- développement de nouvelles fonctions de filtrage à comportement en phase optimisé (avec comme application première, la réalisation de filtres permettant la suppression de raies OH dans le rayonnement de fond de ciel, en collaboration avec le LAM)
- étude de l'impact des défauts d'uniformité de filtres et de miroirs sur la qualité de surface d'onde d'un faisceau optique (notamment dans le cadre de l'instrument IRDIS du projet SPHERE, en collaboration avec le LAM et CILAS-Marseille)
- étude et réalisation de traitements multicouches à très grande uniformité (notamment au travers d'une thèse en co-tutelle avec l'Université de Montréal, en partenariat avec le LAM)
- étude théorique et expérimentale des phénomènes d'imagerie dans les couches métalliques submicroniques (thèse en co-tutelle avec l'Université de Zhejiang, conjointement dirigée par les équipes RCMO et CLARTE)

VIII.8. Relations internationales et rayonnement

Comme mentionné dans différents paragraphes de ce document, l'équipe RCMO a initié au cours de cette période un nombre important de collaborations ou d'échanges avec des équipes de recherche étrangères, à savoir :

- *Politecnico di Torino* [Département Science des Matériaux et Ingénierie Chimique, équipe de Monica Ferraris]
- Ecole Polytechnique de Montréal [Groupe de recherche en physique et technologie des Couches Minces, dirigé par Ludvik Martinu]
- ENEA Rome [Equipe Couches Minces Optiques dirigée par Angela Piegari]
- *University of Central Florida, CREOL* [*Photoinduced Processing Lab* dirigé par Leonid Glebov]
- *Zhejiang University* [State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation dirigé par Xu Liu]

Le rayonnement de notre équipe peut être enfin illustré au travers des responsabilités assumées par certains de ses membres, à savoir :

- Michel Cathelinaud (IR2) est Coordinateur du Réseau de Compétences Technologiques ROP (Réseau Optique et Photonique), associé à la Mission des Ressources et Compétences Technologiques du CNRS (UPS2274)
- Michel Lequime (PR2) est Vice-président du Conseil Stratégique du Pôle de Compétitivité Photonique – Systèmes complexes d'optique et d'imagerie, Membre du Conseil Scientifique du Pôle Optique Rhône-Alpes, Président du Conseil Scientifique du GIS Photonique et Instrumentation Avancée, et enfin membre du Comité d'Organisation de la Conférence SPIE *Advances in Optical Thin Films*

VIII.9. Doctorants RCMO

VIII.9.1. Doctorants présents dans l'équipe

1. Bruno BADOIL, "Contrôle spectrophotométrique large bande de filtres interférentiels en cours de dépôt", Bourse CNRS-Région 2004-2007 (soutenance prévue en Octobre 2007)
2. Sébastien MICHEL, "Détermination des propriétés opto-mécaniques et thermo-optiques des couches minces optiques", Bourse MEN 2004-2007 (soutenance prévue en Octobre 2007)
3. Marie DUCHENE, "Développement d'une nouvelle technologie pour la réalisation de filtres interférentiels de type "allumettes", Bourse CIFRE 2006-2009 en partenariat avec CILAS-Marseille (soutenance prévue en Mars 2009)

VIII.9.2. Thèses en co-tutelle

1. "Développement et caractérisation optique de nano-composites métalliques", par M. Jean-Michel LAMARRE (thèse en co-tutelle avec l'Ecole Polytechnique de Montréal, soutenance prévue en Juin 2007)

VIII.9.3. Thèses soutenues

1. "Application de la photosensibilité à la réalisation de filtres optiques interférentiels", soutenue par M. Julien LUMEAU en Octobre 2004
2. "Filtres bande étroite à cavités substrats – Application au domaine des télécommunications optiques", soutenue par M. Johan FLORIOT en Octobre 2004
3. "Filtres optiques interférentiels à propriétés optiques spatialement maîtrisées", soutenue par Mlle Laetitia ABEL-TIBERINI en Octobre 2005

VIII.10. Bilan financier

VIII.10.1. Ressources propres (Contrats industriels)

ANNEE	CONTRAT	Montant	Intitulé	Organisme Gestionnaire	TOTAL par année
2003	LPMC	540,00 €	Dépôts SiO ₂	EGIM	166 770,40 €
	SODERN	160,00 €	Mesures photométriques	EGIM	
	INSU/LESIA	10 000,00 €	Réalisation de 4QPM Silice @ 2180 nm	EGIM	
	SODERN	8 000,00 €	Absorbeurs PHARAO - Qualification technologique	EGIM	
	CILAS	8 000,00 €	Traitements IR - Etude de faisabilité technologique	EGIM	
	MODULOPTIC	1 100,00 €	Dépôts SiO ₂	EGIM	
	CNES	86 005,40 €	Etude et réalisation de filtres à bande étroite Faisabilité de déphaseurs achromatiques Contrôle optique en réflexion	U III	
	INSU/LESIA	28 000,00 €	Réalisation d'un masque de phase à 4 quadrants adapté à l'observation coronographique d'étoiles dans la bande 5-17 µm au bénéfice du LESIA	EGIM	
	IAS/ESA	24 965,00 €	Achromatic Phase Shifters for Nulling Interferometers	EGIM	
2004	SODERN	4 000,00 €	Absorbeurs PHARAO - Modèles d'Identification	EGIM	52 660,00 €
	SODERN	3 000,00 €	Absorbeurs PHARAO - Modèles de Vol	EGIM	
	MODULOPTIC	1 160,00 €	Dépôts SiO ₂	EGIM	
	INSU/LESIA	12 000,00 €	Etude et conception de filtres variables	EGIM	
	INSU/LESIA	7 500,00 €	Réalisation de 4QPM Silice @ 630 nm	EGIM	
	SESO/ESA	25 000,00 €	Engineering Tool for the Qualification of Optical Coatings	U III	
2005	CILAS	14 000,00 €	Traitements IR - Réalisation composants	EGIM	69 620,00 €
	MODULOPTIC	1 160,00 €	Dépôts SiO ₂	UIII	
	LPMC	1 160,00 €	Dépôts SiO ₂	UIII	
	INSU/LESIA	2 800,00 €	Réalisation de traitements sur substrats diamant	UIII	
	CILAS	9 000,00 €	Formation et assistance au design de filtres	U III	
	INSU/LESIA	41 500,00 €	Etude et réalisation de deux types de filtres linéairement variables	U III	
2006	LPMC	1 160,00 €	Dépôts SiO ₂	UIII	1 160,00 €
TOTAL RCMO 2003-2006				290 210,40 €	
Moyenne annuelle				72 552,60 €	

VIII.10.2. Subventions des Collectivités Territoriales

ANNEE	CONTRAT	Montant	Intitulé	Organisme Gestionnaire	TOTAL par année
2005	Région PACA	13 844,01 €	Mesure de très faibles pertes par Cavity Ring Down Spectroscopy	UIII	13 844,01 €
TOTAL RCMO 2003-2006				13 844,01 €	
Moyenne annuelle				3 461,00 €	

VIII.10.3. Crédits récurrents

	CNRS	U3		U1
Année	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
2003	5 373,41 €	9 014,29 €	1 960,74 €	0,00 €
2004	11 065,33 €	9 964,10 €	4 061,51 €	2 750,18 €
2005	10 327,53 €	9 920,25 €	0,00 €	2 395,54 €
2006	8 799,67 €	7 239,13 €	0,00 €	1 892,51 €
TOTAL	35 565,95 €	36 137,77 €	6 022,25 €	7 038,23 €

Total RCMO 2003-2006 HT 76 701,61 €

Moyenne annuelle HT 19 175,40 €

VIII.10.4. Budget annuel

Le budget annuel moyen de notre équipe s'est donc élevé sur la période 2003-2006 à 95 k€, dont plus de 75% en ressources propres.

VIII.11. Production scientifique RCMO

VIII.11.1. Publications dans des revues à comité de lecture

1. "Dedicated Spectrophotometer for localized transmittance and reflectance measurements", Abel-Tiberini L., Lemarquis F., Lequime M., Applied Optics 45 1386-1391 (2006)
2. "High accuracy measurement of the residual air gap thickness of thin-film and solid-spaced filters assembled by optical contacting", Floriot J., Lemarchand F., Abel-Tiberini L., Lequime M., Optics Communications 260 324-328 (2006)
3. "Solid Spaced Filters: an alternative for narrow bandpass applications", Floriot J., Lemarchand F., Albrand G., Lequime M., Applied Optics 45 1349-1355 (2006)
4. "Optical Characterisation of an unknown single layer: Institut Fresnel contribution to OIC 2004 Measurement Problem", Lemarchand F., Deumie C., Zerrad M., Abel-Tiberini L., Bertussi B., Lazaridès B., Cathelinaud M., Lequime M., Amra C., Applied Optics 45 1312-1318 (2006)
5. "Ultranarrow bandpass hybrid filter with wide rejection band", Lumeau J., Cathelinaud M., Bittebierre J., Lequime M., Applied Optics 45 1328-1332 (2006)
6. "Localized measurement of the optical thickness of transparent window – Application to the study of the photosensitivity of organic polymers", Lumeau J., Lequime M., Applied Optics 45 6099-6105 (2006)
7. "Simple layer-by-layer photonic crystal for the control of thermal emission", Enoch S., Simon J.-J., Escoubas L., Elalamy Z., Lemarquis F., Torchio P., Albrand G., Applied Physics Letters 86 261101 (2005)
8. "Design and fabrication of optical microcavities based on F2 colour centres in lithium fluoride films", Bonfigli F., Cathelinaud M., Jacquier B., Montereali R.M., Moretti P., Nichelatti E., Piccinini M., Rigneault H., Somma F., Optics Communications 233 389 (2004)
9. "Tunable double-cavity solid-spaced bandpass filter", Floriot J., Lemarchand F., Lequime M., Optics Express 12 6289-6298 (2004)
10. "Optical microcavities based on colour centres: new approach to activate resonator", Saoudi R., Belarouci A., Moretti P., Jacquier B., Rigneault H., Cathelinaud M., Nichelatti E., Montereali R.M., Somma F., Electronics Letters 40 1294 (2004)
11. "Double Coherent Solid-spaced Filters for very narrow-bandpass filtering applications", Floriot J., Lemarchand F., Lequime M., Optics Communications 222 101-106 (2003)
12. "Thin film achromatic phase shifters for nulling interferometry: design approach", Lemarquis F., Riaud P., Applied Optics 42 6919-6928 (2003)
13. "Substrate strain induced tunability of dense wavelength division multiplexing thin film filters", Parmentier R., Lequime M., Optics Letters 28 728-730 (2003)
14. "Index determination of opaque and semi transparent metallic films. Application to light absorbers", Cathelinaud M., Lemarquis F., Amra C., Applied Optics 41 2546-2554 (2002)
15. "Multiscale Degradations of Storage Ring FEL Optics", Gatto A., Feigl T., Kaiser N., Garzella D., De Ninno G., E. Couprie M., Torchio P., Albrand G., Amra C., Marsi M., Trovo M., Grewe M., Boccara C., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 483 172-176 (2002)
16. "High-Performance Deep-Ultraviolet Optics for Free Electron Laser", Gatto A., Thieslch R., Heber J., Kaiser N., Ristau D., Gunster S., Kohlaas J., Marsi M., Trovo M., Torchio P., Alvisi M., Amra C., Applied Optics 41 (16) 3236 - 3241 (2002)
17. "Light emission from europium chelates located in crossed grating structures", Lemarchand F., Rigneault H., Journal of Optics A 4 S115 (2002)
18. "Gradually Layered Alternated Substrate Synthesis", Lemarquis F., Applied Optics 41 3068-3074

(2002)

19. "Towards Tunable Thin-Film Filters for Wavelength Division Multiplexing Applications", Lequime M., Parmentier R., Lemarchand F., Amra C., Applied Optics 41 3277-3284 (2002)
20. "Piezoelectric Tantalum Pentoxide Studied for Optical Tunable Applications", Parmentier R., Lemarchand F., Cathelinaud M., Lequime M., Amra C., Labat S., Bozzo S., Bocquet F., Charai A., Thomas O., Dominici C., Applied Optics 41 3270-3276 (2002)
21. "High-Reflectivity HfO₂/SiO₂ Ultraviolet Mirrors", Torchio P., Gatto A., Alvisi M., Albrand G., Kaiser N., Amra C., Applied Optics 41 (16) 3256 - 3261 (2002)

VIII.11.2. Conférences invitées dans des congrès

1. "Laser trimming of thin-film filters", Lequime M., Lumeau J., Advances in Optical Thin Films II 60-69 Jena SPIE (2005)
2. "Tunable Thin Film Filters", Lequime M., Optical Interference Coatings Conference Tucson (2004)
3. "Near infrared antireflective silicon grating working in the resonance domain", Escoubas L., Simon J.-J., Loli M., Berginc G., Flory F., Lemarquis F., Enoch S., Giovannini H., Invited Conf. "Design and Technology of Coatings", September 24-26, 2003, Bonassola, Italie (2003)
4. "Tunable Thin-Film Filters: Review and Perspectives", Lequime M., Advances in Optical Thin Films 302-311 Saint-Etienne SPIE (2003)
5. "Optical characterizations techniques", Lequime M., Amra C., Deumié C., Commandré M., Natoli J.-Y., Design and Technology of Coatings Bonassola (2003)

VIII.11.3. Communications à des congrès, symposium

1. "Development of a real-time reflectance and transmittance monitoring system for the manufacturing of metal-dielectric light absorbers", Badoil B., Cathelinaud M., Lemarchand F., Lemarquis F., Lequime M., International Conference for Space Optics Noordwijk ICSO (2006)
2. "Engineering tool for the qualification of optical coatings", Davi M., Perrin D., Lequime M., Doyle D., International Conference for Space Optics Noordwijk (2006)
3. "Ultra fine measurement of the effect of a vacuum exposure on the central wavelength of narrow band-pass interference filters manufactured by Dual Ion Beam Sputtering", Floriot J., Lemarquis F., Boucanssot M., Lequime M., International Conference for Space Optics Noordwijk ICSO (2006)
4. "Wedge filter imaging spectrometer", Sémary A., Reess J.-M., Lemarquis F., Drossart P., Laubier D., Bernardi P., International Conference for Space Optics Noordwijk ICSO (2006)
5. "Contrôle non destructif de l'interstice d'air résiduel entre deux filtres interférentiels assemblés par adhérence moléculaire", Abel-Tiberini L., Lemarchand F., Floriot J., Lequime M., Horizons de l'Optique Chambéry SFO (2005)
6. "Manufacturing of linear variable filters with straight iso-thickness lines", Abel-Tiberini L., Lemarquis F., Marchand G., Roussel L., Albrand G., Lequime M., Advances in Optical Thin Films II Jena SPIE 5963 (2005)
7. "Development of a modern Fabry Perot interferometer", Gach J.-L., Amram P., Boulesteix J., Marcelin M., Balard P., Lequime M., Fermé J.-J., Lelety R., Rabaud D., Roziere D., Optical Complex System Conference Marseille (2005)
8. "Comparative study of IR and UV laser damage resistance of silica thin films deposited by electron beam deposition, ion plating, ion assisted deposition and dual ion beam sputtering", Gallais L., Krol H., Capoulade J., Cathelinaud M., Roussel L., Albrand G., Natoli J.-Y., Commandre M., Lequime M., Amra C., Advances in Optical Thin Films II 287-293 Jena SPIE (2005)

9. "Spatially resolved spectroscopy for non-uniform thin film coatings: comparison of two dedicated set-ups", Krasilnikova A., Piegari A., Dami M., Abel-Tiberini L., Lemarquis F., Lequime M., 550-557 Optical Fabrication, Testing, and Metrology II Jena (2005)
10. "Mesure locale de l'épaisseur optique d'une lame transparente - Application à l'étude de la photosensibilité de polymères organiques", Lumeau J., Lequime M., Horizons de l'Optique Chambéry SFO (2005)
11. "Photovoltaic Efficiency of Organic Solar Cells: Electromagnetic Field Optimization", Monestier F., Simon J.J., Torchio P., Escoubas L., Cathelinaud M., Alem S., Nunzi J.M., E-MRS 2005 Spring Meeting (European Materials Research Society) on "Thin Film and Nano-Structured Materials for Photovoltaics", THINC-PV2 Strasbourg (2005)
12. "Demonstration of a Software for Automatic Optimization of the Electromagnetic Field in Organic Solar Cells", Simon J.J., Torchio P., Monestier F., Cathelinaud M., Escoubas L., 10th International Conference on "Electrical and Related Properties of Organic Solids and Polymer" (ERPOS'10) Institut d'Etudes Scientifiques de Cargèse (2005)
13. "Dedicated spectrophotometer for localized transmittance and reflectance measurements", Abel-Tiberini L., Lemarquis F., Lequime M., Optical Interference Coatings Tucson OSA (2004)
14. "Micro-structured thin-film based photonic crystal for directive thermal sources", Elalamy Z., Fiere J., Enoch S., Escoubas L., Simon J.-J., Lemarquis F., Torchio P., Flory F., International Conference of OSA on "Optical Interference Coatings" Tucson (Arizona, USA) (2004)
15. "Cristal Photonique Tridimensionnel pour la Réalisation de Sources Directives Thermiques", Escoubas L., Enoch S., Simon J.J., Elalamy Z., Torchio P., Lemarquis F., Fiere J., Flory F., 5ièmes Journées Nationales du Réseau de Recherche en Micro et Nano Technologies (RMNT) Cassis (2004)
16. "Solid Spaced Filters: an alternative for narrow bandpass applications", Floriot J., Lemarchand F., Albrand G., Lequime M., Optical Interference Coatings Conference Tucson OSA (2004)
17. "Ion-Plating metal-dielectric coatings for light absorbers", Lemarquis F., Cathelinaud M., Loesel J., Cousin B., ICSO Toulouse ICSO (2004)
18. "Narrow bandpass hybrid filter with wide rejection band", Lumeau J., Cathelinaud M., Bittebierre J., Lequime M., Optical Interference Coatings Conference Tucson OSA (2004)
19. "Design and fabrication of biperiodic AR gratings for the infrared", Escoubas L., Loli M., Simon J., Giovannini H., Flory F., Lemarquis F., Enoch S., Berginc G., Advances in Optical Thin Films SPIE 5250 (2003)
20. "Cascaded solid-spaced filters for DWDM applications", Floriot J., Lemarchand F., Lequime M., Advances in Optical Thin Films 384-392 St Etienne (2003)
21. "Thin film approach for pi achromatic phase shifters", Lemarquis F., Riaud P., Advances in Optical Thin Films SPIE 5250 (2003)
22. "Metal-dielectric light absorbers manufactured by ion plating", Lemarquis F., Cathelinaud M., Advances in Optical Thin Films St Etienne SPIE 5250 (2003)
23. "Manufacturing of 4-quadrant phase mask for nulling interferometry in thermal infrared", Lemarquis F., Lequime M., Albrand G., Escoubas L., Simon J., Baudrand J., Riaud P., Rouan D., Bocaletti A., Mawet D., 435-443 Advances in Optical Thin Films St Etienne SPIE (2003)
24. "Nouvelle methode de fabrication de micro-cavité optique à base de centres colorés créés par implantation ionique dans du LiF", Orucevic F., Saoudi R., Belarouci A., Moetti P., Jacquier B., Rigneault H., Cathelinaud M., Journées Nationales d'Optique Guidée Valence (2003)
25. "Fluorescence enhancement using corrugated surfaces", Rigneault H., Lemarchand F., Linz Winter Workshop of nano probes and fluorescence spectroscopy, Linz, January, 2002 Linz (2002)

VIII.11.4. Séminaires, workshops

1. "Software for automatic optimization of the electromagnetic field in organic solar cells", Monestier F., Simon J.J., Torchio P., Cathelinaud M., Escoubas L., "Matériaux, Procédés et Systèmes pour la Conversion Photovoltaïque de l'Energie Solaire", Séminaire ADEME-CEA-CNRS sur la Recherche et le Développement Technologique Sophia-Antipolis (2005)
2. "Cristal Photonique Tridimensionnel pour la Réalisation de Sources Directives Thermiques", Escoubas L., Enoch S., Simon J.-J., Elalamy Z., Torchio P., Lemarquis F., Fiere J., Flory F., 5ièmes Journées Nationales du Réseau de Recherche en Micro et Nano Technologies (RMNT) (2004) Simulation of two-dimensional Kerr photonic crystals via the fast Fourier factorisation, Bonnefois J.-J., Guida G., Nevière M., Popov E., Journal of the Optical Society of America A 23 842-847 (2006)

IX - ÉQUIPE GSM, RAPPORT SCIENTIFIQUE

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
GSM	3	25	861

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	GSM %	Date d'arrivée dans l'équipe
DERRODE Stéphane	EGIM	Ens-chercheur	1	oct-01
KHALIGHI Mohammad Ali	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-05
BOURENNANE Salah	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-99
GUILLAUME Mireille	EGIM	Ens-chercheur	1	oct-94
ADEL Mouloud	UIII/IUT	Ens-chercheur	1	sept-04
GAIDON Thierry	EGIM	Ens-chercheur	1	oct-94
Total servant au calcul de la répartition des crédits			6	

GSM : Effectifs au 01/11/06

IX.1. Déclaration succincte de politique scientifique

Le traitement du signal multidimensionnel 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. L'équipe GSM (Groupe Signaux Multidimensionnels) de l'Institut Fresnel développe des thèmes relevant directement du traitement du signal multidimensionnel. Ses activités de recherche ont pour principaux objectifs les développements théoriques et applications de méthodes de traitement de données multidimensionnelles, favorisées par l'émergence de nouveaux capteurs (multi-spectraux, multi-temporels...). Ces données multidimensionnelles mettent en exergue certaines carences méthodologiques des techniques actuelles, que l'équipe participe à résoudre.

Ainsi, nous avons pu perfectionner très significativement certaines méthodes d'analyse du signal en prenant en compte l'ensemble de l'information disponible, notamment au travers de techniques statistiques et algébriques. A titre d'exemple, nous avons développé des méthodes de filtrage linéaire reposant sur une représentation tensorielle des données (filtrage algébrique multi-linéaire et ACP multi-modale) et intégrant l'ensemble des informations mutuelles contenues dans chacune des dimensions. Ces méthodes sont bien adaptées aux signaux et images multi-spectraux et aux séries temporelles d'images recalées. Nous avons également développé et adapté des techniques markoviennes aux images multi-spectrales et à la détection de changements dans des paires d'images prises à des instants différents.

Des méthodologies nouvelles ont été développées en :

- débruitage d'images couleur par filtrage tensoriel,
- aide au diagnostic par des méthodes statistiques en imagerie médicale,
- classification non supervisée par des méthodes de logique floue,
- traitement des signaux multicomposantes en utilisant des propriétés d'algèbre multilinéaire,
- poursuite de cibles pour la biométrie et la reconnaissance de gestes,
- reconstruction d'images mono- et multi-spectrales à partir de données à faible flux,
- débruitage, détection et analyse en composantes indépendantes en imagerie hyperspectrale.

Les applications développées concernent :

- l'imagerie radar, l'imagerie multicomposante, l'imagerie multispectrale et hyperspectrale (soutenu par la DGA et le CNES),
- l'imagerie médicale (collaboration avec l'hôpital de la Timone à Marseille),
- l'imagerie astronomique (collaboration avec le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, LAM),
- la biométrie et reconnaissance de gestes (soutenu par ST Microelectronics et Simag).

IX.2. Résultats de recherche

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 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 à traiter. Les études théoriques développées sont confrontées à des situations réelles par leur application sur des données expérimentales. Pour atteindre ces objectifs, l'équipe GSM s'intéresse à trois thèmes de recherche, qui ont volontairement des intersections importantes tant sur les plans de la méthodologie que de la mise en œuvre :

- **Thème 1** : Traitement du signal tensoriel
- **Thème 2** : Traitement du signal multidimensionnel : reconstruction, filtrage et segmentation
- **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 sismiques et acoustiques, les images vidéo, médicales, aériennes et astronomiques.

IX.2.1. Thème 1 – Traitement du signal tensoriel

Permanents : M. Adel (MCF), S. Bourennane (Pr) et M.A Khalighi (MCF)

Doctorants : M. Bouri, J. Marot, D. Muti, N. Renard et Z.Saidi

IX.2.1.1. Filtrage du signal tensoriel : méthodes algébriques

Suite au développement de capteurs multidimensionnels, la modélisation tensorielle a été adoptée pour représenter les signaux multidimensionnels et multicomposantes. Cette représentation permet de conserver l'ensemble des données, qui constitue le signal tensoriel, comme une entité indivisible, de manière à disposer de toute l'information qu'il est possible d'obtenir par découpage ou réarrangement du tenseur de données en vecteurs ou tranches de matrices disjointes. Grâce à l'utilisation de nouveaux concepts d'algèbre multilinéaire, nos travaux de recherche, au cours de ces quatre dernières années, ont conduit au développement de méthodes originales de traitement du signal tensoriel. Ces méthodes sont basées sur la généralisation des techniques monodimensionnelles ou matricielles. Des algorithmes de réduction de rang pour la compression, pour le débruitage d'images ou de séquence d'images couleur sont proposés. Ces méthodes utilisent des opérateurs «n- modaux » obtenus par des algorithmes HOSVD ou HOEVD qui généralisent la décomposition en valeurs singulières. A chaque mode du tenseur est associé un projecteur ou un filtre n-modal construit à partir des vecteurs associés aux plus grandes valeurs propres de la dépliante suivant le mode considéré. Dans nos travaux, nous avons proposé un filtre de Wiener « tensoriel » permettant le débruitage des signaux tensoriels (images couleur, signaux sismiques multicomposantes et polarisés, images hyper spectrales,...). Ce filtrage consiste à déterminer les filtres de Wiener n-modaux optimaux sur chaque n-mode du tenseur de données bruitées. Pour cela, nous avons développé un algorithme numérique basé sur les moindres carrés alternés (TUCKALS3). Les résultats obtenus sur des images en couleur, des données sismiques multicomposantes et les images hyperspectrales bruitées ont montré que ce nouveau filtrage de Wiener tensoriel améliore le filtrage obtenu par ACP multimodale (HOSVD ou HOEVD), ainsi que le filtrage qui consiste à appliquer le filtrage de Wiener classique sur chaque tranche bidimensionnelle du tenseur de données bruitées.

Nous avons également considéré le cas d'un bruit additif corrélé et développé un algorithme de filtrage optimal. Ce filtrage représente une ACP multimodale améliorée grâce aux cumulants d'ordre quatre et qui est réalisée par l'approximation tensorielle de rang- $(K_1, \dots, K_N)$ inférieur (LRTA - $(K_1, \dots, K_N)$). L'utilisation des statistiques d'ordre supérieur permet d'éliminer toutes les composantes gaussiennes des vecteurs n-modaux des données considérées.

L'estimation des rangs optimaux nécessaires pour construire les différents projecteurs ou filtres n-modaux utilisés dans toutes les méthodes tensorielles quelle que soit l'application demeure un problème ouvert. Pour apporter une réponse à ce problème, nous avons également étendu deux critères de détection bien connus : le critère AIC (*Akaike Information Criterion*) et MDL (*Minimum Description Length*) à l'estimation du rang optimal pour chaque mode en utilisant les valeurs propres de la matrice de covariance de la dépliante associée à chaque mode. Les résultats obtenus pour un tenseur d'ordre 3 (images couleur, hyperspectrales, signaux sismiques polarisés) sont très prometteurs.

La figure 1 propose une comparaison de différentes méthodes de débruitage pour une image couleur, et la figure 2 expose la même comparaison sur une image hyperspectrale ($\lambda=1038nm$).

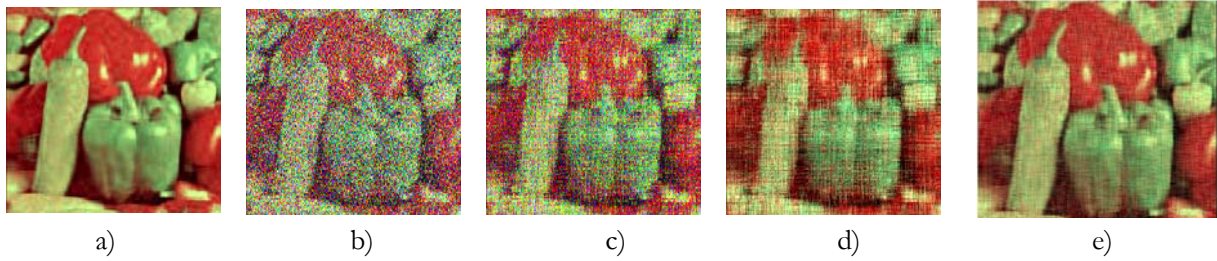


Figure 1 : Débruitage d'images en couleur par filtrage de Wiener multimodal. a) Image initiale. b) Image bruitée $SNR = 0$ dB. c) Wiener 2D canal par canal. d) HOSVD. e) Wiener multimodal.

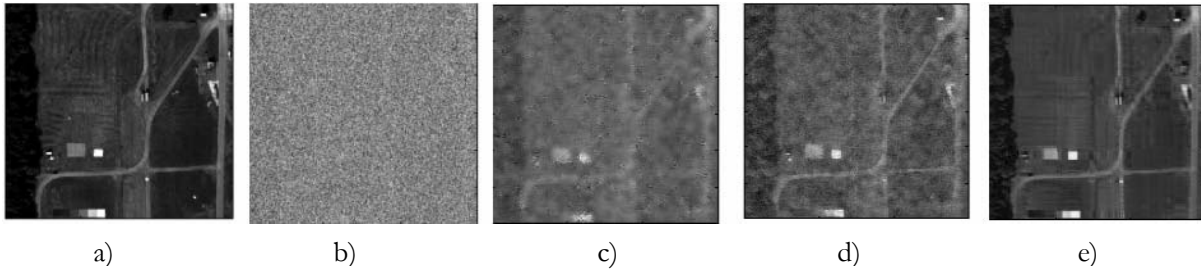


Figure 2 : Débruitage de données hyperspectrales (tenseur $300 \times 300 \times 158$). a) Image initiale. b) Image bruitée ($SNR = -5.79$ dB). c) Wiener 2D canal par canal ($SNR = 8.7$ dB). d) Orthogonalisation spectrale et Wiener 2D ($SNR = 10$ dB). e) Wiener multimodal ($SNR = 15.56$ dB).

Nos recherches portent actuellement sur :

- l'estimation des directions privilégiées de déploiement d'un tenseur, permettant de corriger les effets de ligne et de colonne sur les objets filtrés,
- la généralisation des critères basés sur la théorie de l'information pour estimer les rangs optimaux à intégrer, d'une part, dans les méthodes utilisant la décomposition tensorielle TUCKALS3 et, d'autre part, pour estimer le nombre de tenseurs élémentaires dans la méthode PARAFAC/CANDECOMP,
- le développement des méthodes tensorielles par sous-espaces ou d'analyse par composantes principales multimodales pour compresser les données hyperspectrales et pour extraire au mieux les composants d'intérêt (fond, cibles, ...)
- le développement des méthodes de séparation de signaux tensoriels pour obtenir des tenseurs sources à partir des tenseurs de données mesurés. Les tenseurs sources pourront servir de base pour réaliser une classification à partir des signatures multidimensionnelles en utilisant des méthodes de classification simples.

Principales publications : [A23, A15, A14, C38, C29, C58]

IX.2.1.2. 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. Ces travaux requièrent des compétences en traitement du signal multi-composantes et en diffusion acoustique. Nos travaux de recherche 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. Pour atteindre ce résultat, nous avons considéré les objets de forme cylindrique ou sphérique pour déterminer le vecteur directionnel nécessaire pour appliquer la méthode MUSIC (MULTiple Signal Classification). Le nouveau vecteur directionnel utilise un modèle de propagation calculé à partir du champ de diffusion acoustique en champ libre ou enfoui. Les statistiques d'ordre supérieur ont été utilisées pour éliminer le bruit. Ensuite, nous avons adapté la technique du lissage fréquentiel pour former la matrice des cumulants moyenne nécessaire pour estimer le sous-espace signal cohérent. D'autre part, les déphasages des signaux dus aux déplacements des capteurs de l'antenne ont été estimés en utilisant

l'algorithme DIRECT (DIviding RECTangles). Les performances de cette méthode ont été évaluées sur des données réelles mesurées dans une cuve expérimentale où plusieurs objets ont été enfouis sous du sable. La méthode proposée s'avère supérieure en termes de performances comparée aux méthodes classiques. Cette supériorité est vérifiée quelle que soit la position de l'objet, dans un champ lointain ou un champ proche de l'antenne.

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 de Marseille. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse de Z. Saidi, financée par l'école navale.

Principales publications : [A24, C41, C42, C49]

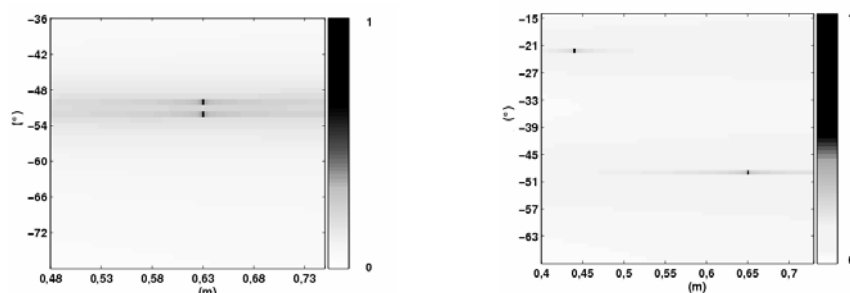


Figure 3 : Exemples de localisation (angle et distance) de deux objets enfouis dans le sable.

IX.2.1.3. Codage espace-temps, détection et estimation du canal

Nous nous sommes également intéressés à un problème similaire qui consiste à détecter le signal dans les systèmes de communications sans-fil. En effet, face aux évanouissements du canal dans un milieu de communication sans-fil, l'usage des réseaux d'antennes et les techniques de traitement d'antenne s'avèrent très efficaces pour préserver la qualité de transmission des données. En particulier, nos travaux ont montré que la technique MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), qui consiste à utiliser des antennes multiples à la fois à l'émission et à la réception, est efficace pour atteindre des taux de transmission très élevés tout en préservant la qualité de transmission de données. Nous nous sommes aussi intéressés à l'étude des performances des différents types de codage espace-temps en vue d'optimiser le taux de codage et de réaliser un décodeur simple. C'est ainsi que nous avons proposé un détecteur itératif simple, qui atteint les performances du détecteur optimal tout en gardant une complexité raisonnable et qui est donc très intéressant pour une mise en oeuvre.

Nous nous sommes aussi intéressés à l'estimation du canal pour les systèmes MIMO. Nous avons proposé une technique semi-aveugle permettant d'améliorer considérablement l'estimation du canal tout en conservant une complexité acceptable. Nous avons également étudié l'impact des erreurs d'estimation du canal sur la performance du récepteur pour différents codes espace-temps et nous avons montré que les codes orthogonaux sont plus sensibles à ces erreurs que les codes non-orthogonaux (cf. figure 4).

Nos recherches actuelles portent sur les systèmes MIMO dans un contexte multi-utilisateurs et/ou avec des modulations multi-porteuses. Pour cela nous utilisons une modélisation tensorielle, au lieu de l'approche classique basée sur une modélisation bidimensionnelle. En plus des deux dimensions habituelles nous avons considéré la fréquence ou l'étalement spectral comme la troisième dimension du tenseur. Ainsi, les différentes sources de diversité (temporelle, spatiale, fréquentielle/étalement) sont exploitées conjointement et efficacement à l'aide des méthodes tensorielles.

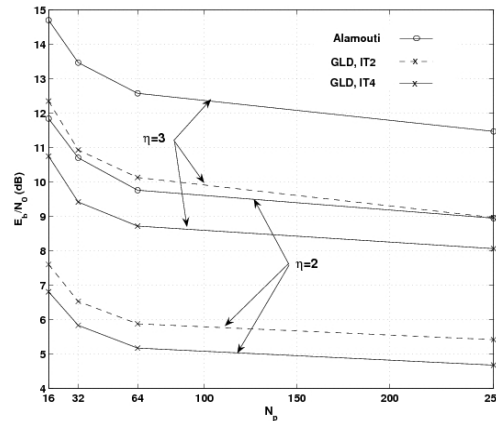


Figure 4 : Comparaison d'un schéma orthogonal (code d'Alamouti) et un non-orthogonal (code Golden) ; SNR nécessaire pour atteindre un taux d'erreur binaire de 10^{-4} en fonction des nombres des bits pilotes.

Deux antennes à l'émission et deux à la réception. IT : nombre d'itérations, η (bps/Hz) : efficacité spectrale.

Principales publications : [A26, A17, C54, C46]

IX.2.2. Thème 2 – Traitement du signal multidimensionnel : reconstruction, détection, filtrage et segmentation

Permanents : M. Adel (MCF), S. Bourennane (Pr), S. Derrode (MCF), T. Gaidon (MCF) et M. Guillaume (MCF).

Doctorants : C. Carincotte, J.-M. Gaucel et J. Marot

Ce thème regroupe les travaux réalisés en restauration, segmentation et codage de données multicomposantes, pour des applications variées issues du traitement d'antennes, de l'imagerie astronomique, satellitaire ou médicale. Les applications abordées ont en commun la prise en compte conjointe d'une information multi-dimensionnelle.

IX.2.2.1. Reconstruction d'objets multidimensionnels avec des données incomplètes ou insuffisantes

Le problème de la reconstruction d'objets dans un contexte mal posé peut être résolu en modélisant de manière précise les modalités de formation des données et en recherchant toute source additionnelle d'information. Nous avons développé cette méthodologie pour résoudre des problèmes liés à des applications en astronomie ou de telles situations sont fréquentes, en partenariat avec des chercheurs du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, dans le cadre du GIS photonique de Marseille qui regroupe le LAM et l'Institut Fresnel, à la suite de plusieurs années de collaboration.

Ces quatre dernières années, l'exploitation des données GALEX, satellite lancé en 2003, dont la mission est l'observation des galaxies dans l'UV, a été abordée de plusieurs façons :

- Nous avons proposé des méthodes pour le suivi de trajectoire en milieu bruité et la reconstruction d'images. Les séquences d'images délivrées par le capteur, de trop faible intensité (100 photons/image), ne permettent pas une analyse directe. L'estimation conjointe du mouvement du satellite imageur et de l'image reconstruite en corrigeant ce mouvement et en additionnant les séquences recalées, permet la construction de grands champs. La méthode itérative proposée est développée dans un cadre bayésien et utilise le modèle du mouvement et du bruit.
- Nous avons proposé une méthode nouvelle pour la photométrie d'objets faibles, dégradés par une mauvaise résolution et du bruit de photons. Le flux des objets astronomiques non résolus, observés dans des champs danses, est estimé grâce à un modèle paramétrique utilisant une connaissance a

priori sur les positions et les formes de ces objets. Une méthode itérative de type EM permet d'obtenir directement les flux, et ainsi de séparer des objets proches et d'estimer des flux très faibles, avec la meilleure précision atteignable actuellement pour ce type de données.

- Nous nous sommes également intéressés à la reconstruction du cubes multi spectraux : l'instrument GALEX procure un mode d'imagerie spectroscopique, qui délivre les projections des spectres des objets à différents ordres et pour différents angles, également de très faible intensité. Actuellement la reconstruction des cubes multi-spectraux se fait « manuellement », par une méthode de fenêtrage très longue au vu du nombre d'objets présents dans les champs observés. Les méthodes de reconstruction tomographiques classiques sont inadaptées car les données sont insuffisantes en nombre et en intensité. Nous avons donc proposé une méthode de reconstruction tomographique nouvelle, optimale, basée sur le modèle statistique du bruit de Poisson et sur le modèle de formation des projections par l'instrument GALEX, qui permet de reconstruire un cube multi-spectral de taille 256^3 en quelques minutes, avec une bonne précision.

Principales publications : [A3, C47]

IX.2.2.2. Détection d'objets multidimensionnels par des mesures de concordance

Durant la période précédente, nous avons développé des méthodes de détection pour des images multi-spectrales et multi-composantes. Ces quatre dernières années, nos recherches dans ce domaine se sont concentrées sur la détection en imagerie hyper-spectrale, application pour laquelle les méthodes sont spécifiques et différent du cas multi-composantes général. En effet, les méthodes classiques sont fondées sur une modélisation statistique des vecteurs spectraux, et les résultats dépendent fortement de la pertinence de cette modélisation. Nous avons, dans un premier temps adopté, le point de vue classique en améliorant les méthodes existantes :

- Pour le débruitage, nous avons proposé une adaptation du filtrage de Wiener au cas hyper-spectral (*cf. thème 1*), permettant une réduction du bruit sans dégrader la résolution spectrale, qui est importante pour la détection par des filtres classiques comme le filtre adapté (AMF).
- Pour la séparation de composantes, en proposant une méthode de séparation dérivée de l'analyse en composantes indépendantes, qui relaxe la condition d'orthogonalité de la matrice de mélange et permet ainsi une meilleure estimation des composantes.
- Pour la prise en compte de la corrélation entre pixels vecteurs voisins dans l'algorithme de détection, qui classiquement est basé sur un test d'hypothèses pour chaque vecteur spectral indépendamment. Il en résulte une capacité de détection accrue.

Dans ces travaux, nous avons proposé des améliorations d'algorithmes existants, en prenant mieux en compte une réalité physique ou des spécificités des signaux hyper-spectraux, mais en se plaçant dans une perspective classique quand aux modèles. Arrivant aux limites de cette approche, nous avons ensuite changé de point de vue. Le point de vue classique considère les données comme un ensemble de réalisations d'un vecteur spectral aléatoire, décrit par une loi multivariée à contours elliptiques, et la détection est effectuée avec un filtre adapté correspondant au modèle statistique, ce qui revient après blanchiment des données, à une corrélation du pixel vecteur testé avec le pixel vecteur représentant la cible. Cette démarche nécessite l'estimation de paramètres de nuisance comme les matrices de covariance et des valeurs moyennes, ainsi qu'un choix pertinent du modèle statistique pour la variabilité naturelle des spectres. Nous avons plutôt proposé de considérer les données comme les réalisations d'une image aléatoire. Nous effectuons alors la détection en calculant une mesure de concordance entre le pixel testé et le pixel cible. Nous avons choisi comme mesure de concordance le Tau de Kendall, largement utilisé en gestion des risques. Cette démarche se traduit par le calcul de la corrélation sur les rangs des vecteurs spectraux, au lieu d'une corrélation sur les valeurs observées, et ne

nécessite pas de modèle statistique des données ni d'estimation de paramètres. Les résultats obtenus montrent une très bonne robustesse à la diminution du nombre de bandes spectrales et aux perturbations dues aux phénomènes d'ombres sur les données, largement supérieure à celle obtenue avec les filtres classiques (AMF, ACE). Cette voie, très prometteuse, est actuellement poursuivie avec l'étude de mesures de concordance pour la détection de changements entre deux images hyperspectrales et la séparation de composantes. La généralisation à des signaux multidimensionnels autres qu'hyper-spectraux est également un de nos objectifs poursuivis.

Principales publications : [C56, C57, C36]

IX.2.2.3. Filtrage homomorphique en imagerie médicale

L'aide à la détection, à l'interprétation et à l'intervention médicale, en utilisant les nouvelles technologies du numérique, constitue un véritable défi scientifique des années à venir. En particulier, l'aide au diagnostic assisté par ordinateur permet d'améliorer la lecture puis l'interprétation des images médicales et d'apporter aux médecins un outil de travail complémentaire performant et objectif.

Les images médicales sont issues de plusieurs modalités (rayons X, IRM, échographie, TEP, ...). Elles sont par nature très peu contrastées et fortement bruitées. Le bruit entachant ces images est essentiellement dû au processus physique qui leur a donné naissance. En particulier les films obtenus par interaction rayons X – matière contiennent du bruit quantique et du bruit de granularité connu pour être du bruit du type Poisson. Dans ce cadre, nous avons développé une méthode de débruitage basée sur le schéma d'un filtrage homomorphique dans lequel l'image initiale de niveaux de gris est transformée en une image de contraste. Cette image est obtenue par le calcul d'un contraste local normalisé, faisant intervenir les statistiques en niveaux de gris autour de chaque pixel. Une fonction de modification de l'image contraste est alors appliquée. Le choix de cette fonction détermine la nature de la transformation opérée sur l'image de contraste locale. En construisant cette fonction au moyen de la minimisation d'un critère du type erreur quadratique moyenne, nous obtenons un effet de réduction de bruit. L'image débruitée est alors obtenue par application d'une transformation inverse permettant de passer de l'espace contraste à l'espace de niveau de gris initial de l'image traitée. Cette technique a permis de mettre en place une évaluation de la qualité des sites de mammographie en permettant d'automatiser la lecture de clichés numérisés de sein artificiels (fantôme mammographique) par traitement d'images.

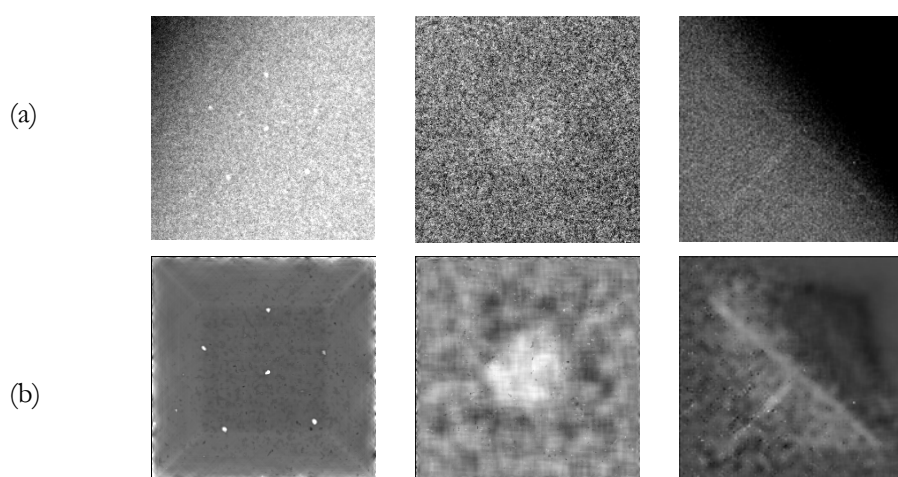


Figure 5 : (a) : Amas de microcalcifications, masse et fibre (b) : Images débruitées.

Principales publications : [A4, C33, C35]

IX.2.2.4. Segmentation de structures d'intérêt médical

La segmentation d'images médicales est d'une importance capitale dans le cas du suivi objectif de l'évolution d'une maladie. L'étape cruciale de tout système d'aide au diagnostic médical assisté par ordinateur consiste à délimiter des zones d'intérêt avant de les caractériser.

Dans ce cadre, nous avons élaboré deux méthodes de segmentation Bayésiennes (une approche région et une approche contour) basées sur la modélisation par les champs aléatoires de Markov et le critère du Maximum A Posteriori (MAP). Dans le cas de l'approche région, la probabilité a priori du champs des étiquettes est supposé être un champ de Gibbs alors que dans l'approche contour, les points du contour sont modélisés par une chaîne aléatoire de Markov monodimensionnelle. La recherche de la configuration optimale selon le MAP s'effectue en utilisant un des deux algorithmes itératifs suivants : le recuit simulé (simulated annealing) ou la recherche conditionnelle des modes (iterated conditional modes). La distribution de niveau de gris des différentes classes à segmenter suit une loi supposée connue. L'estimation des paramètres dans le cas de l'approche région utilise l'algorithme EM (Expectation-Maximization) alors que dans le cas de la détection de contour, une estimation empirique Bayésienne est effectuée.

Parallèlement à l'approche Markovienne, nous avons aussi élaboré une méthode de détection d'objets faiblement contrastés, basée sur la théorie statistique du signal. Il s'agit en l'occurrence de calculer le test du rapport du maximum de vraisemblance puis de le comparer à un seuil afin de localiser le signal utile correspondant à l'objet à détecter. Le modèle du bruit blanc gaussien a été adopté pour caractériser les dégradations qui affectent l'image. La pertinence de l'algorithme a été dans un premier temps testée sur des images artificielles puis sur des images médicales. Cette méthodologie a été appliquée avec succès dans le cas de la segmentation des régions d'intérêt dans une mammographie numérisée et celui de la segmentation de la zone avasculaire centrale sur des angiographies rétinienne

Principales publications : [A12, C19]

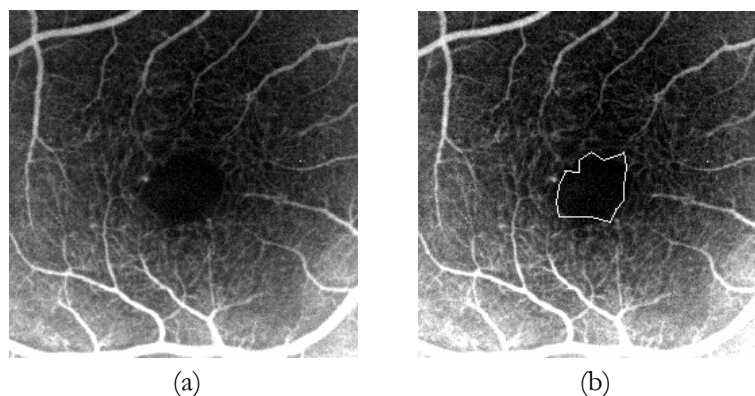


Figure 6 : Segmentation de la Zone Avasculaire Centrale. (a) Image extraite d'une angiographie rétinienne autour de la ZAC. (b) Résultat de la segmentation du contour de la ZAC par CMC.

Principales publications : [A12, C19]

IX.2.2.5. Segmentation d'images par approche floue

Afin de prendre en compte certaines caractéristiques floues des images de télédétection, nous avons proposé un modèle de chaîne de Markov cachée floue, qui tient compte de façon conjointe du bruit et du flou dans les observations. L'approche floue permet d'enrichir le modèle statistique classique (caractérisé par une mesure d'incertitude) en lui ajoutant une mesure d'imprécision. Cette modélisation autorise la coexistence de

pixels durs et flous dans une même image et permet, par exemple, de caractériser des dégradés de niveaux de gris bruités, comme ceux que l'on rencontre à l'interface de zones homogènes (effet de surface partielle). Un autre domaine d'application concerne la segmentation d'une image de nuage (cf. figure 7). Le flou sert ici à modéliser la densité de vapeur d'eau. Le modèle a ensuite été appliqué avec un certain succès pour détecter des changements abrupts intervenant entre deux images Radar de la même scène terrestre mais prise à des instants différents. Ces recherches ont été soutenues par le CNES.

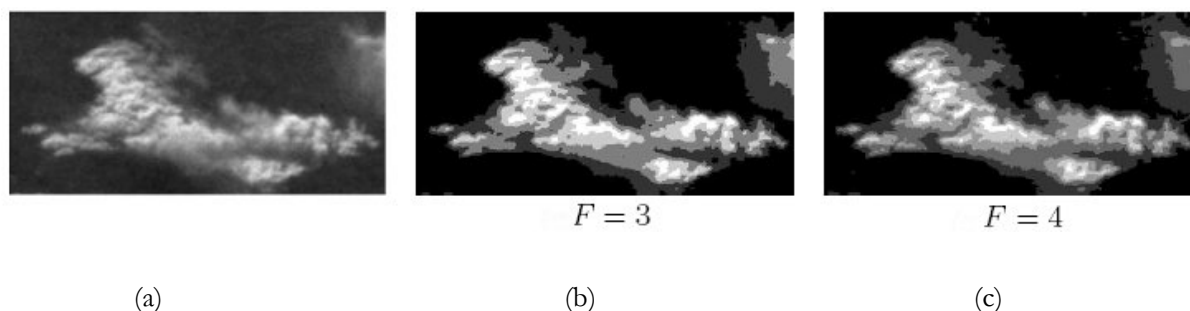


Figure 7 : Segmentation par chaîne de Markov cachée floue d'une image de nuage. (a) image originale. (b) et (c) segmentation pour respectivement 3 et 4 sous-intervalles flous.

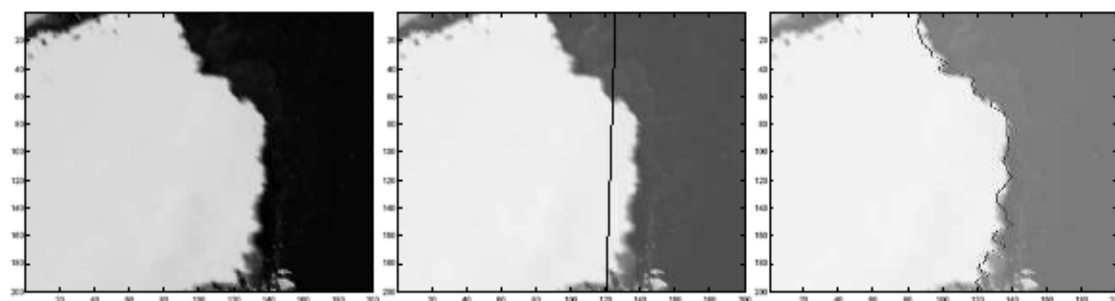
Principales publications : [A16, C30]

IX.2.2.6. Estimation de contours dans une image par les méthodes haute résolution

Dans une autre perspective, des études récentes ont montré l'équivalence entre la caractérisation d'un contour dans une image et la caractérisation d'un front d'onde en traitement d'antenne. Afin de détecter et d'estimer les droites à partir d'une image, la transformation de Hough est considérée comme une méthode efficace, même en présence d'un bruit relativement important. Cependant son utilisation est limitée par l'importance du choix du pas de quantification et par la charge de calcul nécessaire pour la recherche bidimensionnelle des maxima. Pour conserver la résolution et réduire le temps de calcul, les méthodes de traitement d'antenne ont été adaptées pour caractériser des droites multiples à partir d'une image. La méthode ESPRIT a été utilisée pour estimer les pentes des différentes droites. La méthode MFBLP (Modified Forward-Backward Linear Prediction), du domaine de la haute résolution, a été adaptée pour estimer l'offset des droites à retrouver.

Nous avons étendu le cas de l'estimation de contours rectilignes au cas de contours approximativement rectilignes ou approximativement circulaires. Dans ce cadre plus général, nous avons dû mettre au point une méthode haute résolution qui évite l'estimation d'une matrice de covariance. En effet, dans le cas de contours non rectilignes, il n'existe pas de relation de phase linéaire entre les différents signaux générés à partir de l'image à traiter. C'est donc la méthode dite du « propagateur » qui a été directement appliquée. Grâce à cette méthode haute résolution, il est possible d'estimer l'orientation globale d'un contour distordu dans une image. L'estimation des décalages pour chaque ligne de l'image entre les pixels de la droite dite « d'initialisation » et le contour à retrouver est réalisée par une méthode d'optimisation. Le critère minimisé est la norme de la différence entre, d'une part, un signal modèle incluant un modèle de phase contenant les décalages recherchés entre la droite d'initialisation et le contour à retrouver et, d'autre part, le signal généré à partir de l'image à traiter. Dans un premier temps, nous avons mis en oeuvre la méthode du

gradient conjugué qui aboutit à la valeur des décalages pour chaque ligne. Cette méthode fournit de bons résultats dans le cas d'images simples, comportant des contours continus et un fond peu bruité. Cependant elle aboutit à un minimum local de la fonction à minimiser. Nous avons alors proposé une méthode plus élaborée qui fait face à des cas difficiles comme celui des images bruitées (méthode DIRECT, cf. thème 1).



(a) Image de départ

(b) Initialisation

(c) Résultat final

Figure 8 : Détection d'un contour distordu par les méthodes hautes résolutions.

Principales publications : [A20, A21, C52, C37]

IX.2.3. Thème 3 – Détection, suivi, reconnaissance et interprétation dans les séquences vidéo

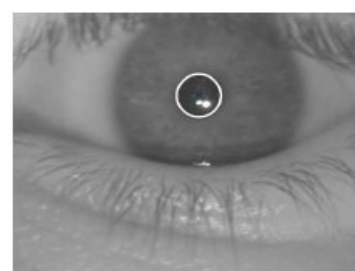
Permanents : S. Bourennane (Pr) et S. Derrode (MCF)

Doctorants : Y. Caulier, S. Conseil, L. Martin et W. Ketchantang

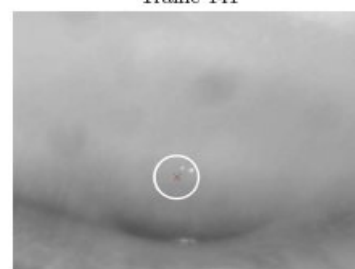
Les activités de recherche développées autour du thème de l'analyse des séquences vidéo se déclinent autour du thème fondamental de la poursuite d'objets d'intérêt dans des séquences vidéo, qu'elles soient mono ou stéréoscopiques. Dans ce contexte, nos travaux se sont portés sur trois méthodes de poursuite pour des applications de détection et de suivi de cibles, de reconnaissance biométrique ou d'interprétation de gestes.

Les systèmes de reconnaissance d'iris sont considérés parmi les plus fiables lorsqu'on les compare à d'autres systèmes biométriques basés sur les empreintes digitales, la forme d'un visage ou la voix d'un interlocuteur. Par contre, pour être performant, ces systèmes nécessitent une coopération stricte de l'utilisateur pour l'acquisition de l'image de leur iris. Il n'est pas rare que plusieurs acquisitions soient nécessaires avant d'obtenir une image exploitable par le système de reconnaissance (mouvement de l'utilisateur, occlusion partielle de l'iris par les cils et les paupières, défocalisation de l'iris par rapport à l'optique).

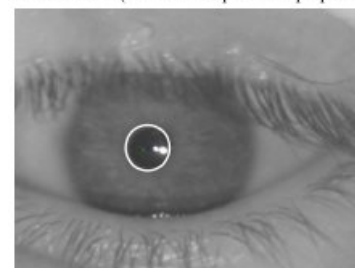
Ainsi, pour rendre le système d'acquisition plus robuste, et donc moins contraignant pour l'utilisateur, nous avons proposé de remplacer l'appareil photographique par une caméra vidéo et de sélectionner les meilleurs images d'iris au fur et à mesure du flux vidéo. Pour cela, nous avons développé un algorithme « temps réel » de suivi, adapté à l'iris avec, d'une part, l'intégration des connaissances a priori sur la forme approximativement circulaire de la pupille et, d'autre part, une description de l'iris par un modèle de mélange de couleurs. L'idée principale du modèle de



Trame 141



Trame 208 (le tracker perd la pupille)



Trame 274 (le tracker retrouve la pupille)

suivi consiste à mettre à jour dynamiquement les paramètres du mélange afin de minimiser l'erreur de prédiction de la position de la cible dans la trame suivante, et ainsi de réduire le temps de calcul. Cette méthode présente l'avantage d'être relativement robuste aux occlusions partielles de la cible, aux variations de taille de l'objet dans l'image, aux faibles mouvements de la caméra et aux mouvements rapides de la cible. Une chaîne optimisée de traitements permet actuellement de sélectionner les images les plus nettes avec un très bon taux de succès à la cadence de 10 images par seconde, cf. figure ci-contre.

Nous nous sommes également intéressés à la reconnaissance 3D de gestes de la main en vision stéréoscopique. L'objectif de nos travaux est le développement d'une nouvelle interface homme-machine à l'aide d'un système stéréoscopique de reconnaissance de geste interprété par le système comme des ordres à exécuter. Là où il y a quelques années on utilisait un gant numérique équipé de capteurs, donc cher et encombrant, on peut désormais envisager des systèmes moins contraignants en utilisant la vision stéréoscopique. Nous avons ainsi développé une méthode de suivi tridimensionnel de la main et des doigts, adaptée aux gestes de pointage pour une application de type écran tactile où la souris est remplacée par la main. Une chaîne de traitements d'image est mise en oeuvre pour segmenter la main, en utilisant l'information de couleur de peau dans un espace de chrominance, et détecter les bouts des doigts en analysant la courbure du contour (cf. figure ci-dessous). Une étape d'appariement stéréoscopique entre les points détectés dans les deux vues permet alors de calculer les positions 3D. Les doigts sont ensuite suivis en 3D avec des filtres de Kalman, afin d'avoir un suivi robuste et un traitement proche du temps réel (20-25 images/sec).



Figure 9 : Segmentation de la main basée sur la couleur de la peau, et détection des bouts des doigts.

Ces activités de recherche sont soutenues par la société ST Microelectronics.

Principales publications : [C44, C15, C43]

Collaborations

Au sein de l'Institut Fresnel, l'équipe GSM développe ses activités de recherche en étroite collaboration avec l'équipe MAP2 sur les aspects imageurs et reconnaissance 3D de gestes (une thèse CIFRE ST Micro/ Institut Fresnel doit débiter dès la rentrée 2006, elle sera l'objet d'un co-encadrement MAP2/GSM). GSM collabore également avec l'équipe SEMO sur la détection et la localisation d'objets enfouis par les méthodes de traitement d'antenne. Enfin, nos thèmes de recherche sont définis en harmonie avec l'équipe PhyTI, tant sur les aspects recherche que sur l'enseignement du signal et de l'image au sein de l'Ecole Généraliste d'Ingénieurs de Marseille.

Les recherches du groupe bénéficient aussi de collaborations externes, avec des établissements d'enseignement supérieur comme

- l'INT (Evry), l'ENST (Paris), l'ENST Bretagne (Brest), l'ENSI (Tunis), l'Ecole Royale Militaire (Bruxelles) et l'ENPA (Alger).
- le LIS (Grenoble), l'institut de recherche de l'Ecole Navale (Brest), le LMA (Marseille), l'IETR (Rennes), l'Institut Fraunhofer (Erlangen), le LAM (Marseille), la DGA et le CNES,

et de partenariats avec des entreprises d'envergure nationale et internationale (ST MicroElectronics, Shaktiware, Simag, Cybernetix, ...), au travers de thèses et de contrats d'études et de recherche.

IX.3. Perspectives

Nous souhaitons accentuer notre investissement sur le développement de méthodes prenant en compte simultanément l'intégralité des données multidimensionnelles. Ainsi, le traitement tensoriel sera approfondi avec, en particulier, la recherche de directions privilégiées dans l'hypercube pour le déploiement du tenseur. En effet, classiquement, les directions des déploiements sont choisies selon les lignes et les colonnes orthogonalement entre elles. Sur les images couleurs, dont le troisième mode est la composante couleur, ce choix induit un effet de ligne et de colonne nuisible à la qualité de l'image. Ces effets sont dus aux projections effectuées dans les directions du déploiement et du fait que l'on considère que chaque ligne et chaque colonne sont alors des réalisations indépendantes les unes des autres. Nous avons donc choisi d'intégrer une connaissance sur la forme de l'objet d'intérêt afin de privilégier certaines directions de déploiement. Pour cela, l'utilité des techniques de détection et de caractérisation de droites importée du domaine du traitement d'antenne est en cours d'évaluation.

Egalement, l'étude de méthodes nouvelles pour la détection d'anomalies dans les images hyper-spectrales se poursuit, avec l'utilisation prometteuse de mesures de concordance entre pixels. Nous envisageons d'autres applications de ces mesures, comme la segmentation, et leur extension au cas des signaux de dimension supérieure à trois. D'une manière générale, la recherche de la dépendance entre les composantes du tenseur sera exploitée pour mener à bien les traitements adéquats.

IX.4. Relations internationales et rayonnement

Collaboration avec l'Institut Fraunhofer

S. Bourennane collabore avec le Prof. D. Seitzer, responsable de l'Institut Fraunhofer, Erlangen en Allemagne, sur le traitement d'images appliqué à la détection de défauts. Y. Caulier prépare sa thèse en cotutelle sur cette thématique.

Collaboration avec l'Ecole royale militaire (Bruxelles)

S. Bourennane collabore avec le Prof. Marc Acheroy sur le traitement du signal et d'image en particulier le traitement des images hyper-spectrales.

Collaboration avec l'Ecole Polytechnique d'Alger

S. Bourennane collabore avec le Prof. A. Belouchrani de l'école nationale polytechnique d'Alger (ENPA) sur la séparation de sources. A. Moussaoui de l'ENPA prépare une thèse, financée par la société Schlumberger, au sein de l'équipe GSM.

L'équipe GSM a accueilli deux élèves ingénieurs de l'ENPA, bénéficiant de la bourse Med-accueil de la région PACA, dans le cadre de leur projet de fin d'études.

Collaboration avec l'Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique de Tunis :

S. Derrode a réalisé une délégation au sein de l'Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI, Tunis), du 15 novembre 2005 au 31 août 2006. Il participe aux enseignements de cette école d'ingénieurs, et poursuit ses travaux de recherche au sein de l'équipe GRIFT (Groupe de Recherche Images et Formes de Tunisie, Resp. : F. Ghorbel), du laboratoire Cristal (Resp. : F. Kammoun). L'objectif est de développer des projets de recherche entre le GRIFT et GSM, avec notamment le co-encadrement de doctorants. L'équipe GSM a accueilli un élève en stage de Master provenant de l'ENSI, et bénéficiant de bourse Med-accueil de la région PACA.

Ateliers TAIMA

L'équipe GSM est très fortement impliquée dans l'organisation des Ateliers TAIMA (Traitement et Analyse de l'Information - Méthodes et Applications) qui se déroulent tous les deux depuis 1999 à Hammamet (Tunisie). A ce titre, S. Bourennane et S. Derrode font partie du comité de pilotage et du comité de

programme de ces ateliers, qui sont présidés par J.-P. Haton (Université de Nancy/Loria) et F. Ghorbel (Lab. Cristal / ENSI). Pour plus d'informations : <http://tarma.enst-bretagne.fr>.

ACIVS'06

S. Bourennane fait partie du comité de programme du congrès : *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems* (ACIVS 2006).

Participation à des groupes de travail sur l'imagerie hyper-spectrale et multivariée :

Les membres de l'équipe GSM ont participé :

- Workshop « spaceborne Hyperspectral Imagery (8-9 déc. 2003, Cannes)
- Journées de la DGA/ GDR ISIS, imagerie hyperspectrale : apports pour la défense et la sécurité, 9-10 janvier 2006.
- Journée GDR ISIS « Imagerie multivariée » 3 avril 2006 .

Action thématique *CACHANT*

S. Derrode est co-reponsable avec E. Trouvé (*LISTIC* /Université de Savoie) et G. Mercier (*IT* /ENST-Bretagne) des journées GDR-ISIS du 4 avril et du 24 novembre 2006 portant sur la détection de changements en télédétection, Action thématique *CACHANT* – <http://gdr-isis.org/cachant/>.

Société savante

M.A. Khalighi est membre de la société IEEE

Responsabilité scientifique de la recherche

S. Bourennane est Directeur Scientifique de la Recherche (laboratoires adossés, études doctorales, valorisation, recherche internationale) de l'Ecole Centrale Marseille (EGIM) depuis janvier 2005.

Expertises des projets ANR : AAP « Blanc »

S. Bourennane a participé à l'expertise des projets dans le cadre du programme AAP "Blanc" (avril 2006).

Revue internationale en traitement du signal et des images

L'équipe a une activité soutenue de relecture dans des revues internationales de son domaine de compétences :

- IEEE Trans. on Image Processing
- IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing
- IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence
- IEEE Trans. on Medical Imaging
- IEEE Trans. On Wireless communications
- IEEE Trans. on Signal Processing
- Journal of Electronic Imaging
- Journal Européen des Systèmes Automatisés
- Signal Processing Journal
- Pattern Recognition
- Pattern Recognition Letters

Participation au volet méthodologique du programme *ORFEO* (CNES-France/ASI-Italie)

Dans le cadre de ses activités de traitement des images satellitaires, l'équipe participe au volet méthodologique du programme d'accompagnement du programme spatial franco-italien *ORFEO* (« *Optical and Radar Federated Earth Observation* »), qui constitue le système dual et bilatéral franco-italien d'observation de la Terre à « Très Haute Résolution ». Nous participons à une réflexion sur le développement des outils nécessaires à l'exploitation opérationnelle des futures images sub-métriques optique et radar. Pour plus d'informations sur le programme : http://smc.cnes.fr/PLEIADES/Fr/A_prog_accomp.htm.

Congés pour recherche et conversion thématique

M. Adel a obtenu un congé pour recherche et conversion thématique (CRCT) d'une durée de 6 mois durant l'année 2005/2006.

M. Guillaume a obtenu un congé pour recherche et conversion thématique (CRCT) d'une durée de 6 mois durant l'année 2005/2006.

IX.5. Permanents de l'équipe GSM

Nom	Qualité	Section CNU	Date d'arrivée dans l'unité	Etablissement d'affectation	% affectation à l'équipe
M. Adel	MCF	61	Sept. 2004	UIII (IUT)	100
S. Bourennane	PR, HDR	61	Sept. 99	EGIM	100
S. Derrode	MCF	61	Oct. 2001	EGIM	100
T. Gaidon	MCF	61	Oct. 94	EGIM	100
M. Guillaume	MCF, HDR	61	Oct. 94	EGIM	100
M.A. Khalighi	MCF	61	Sept. 2005	EGIM	100

IX.6. Coopérations industrielles et valorisation : dépôts de brevets, pôle de compétitivité

Deux brevets sont déposés :

- « Traitement numérique d'une image d'iris », Réf. ST : 05-RO-127, 01-Sep-05, Réf. INPI : 05/52617.
- « Nouvel algorithme de sélection en temps réel des images d'iris exploitables pour l'authentification des personnes », Réf. ST : 02-RO-211. Réf. INPI : 06/08284.

Pôle de compétitivité Photonique

L'équipe GSM participe au projet LOHM, subventionné par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et labellisé par POP Sud (pôle de compétitivité photonique). Notre contribution a pour objectif l'élaboration des méthodes optimales de traitement du signal en vue d'une mise en oeuvre d'un système de communication optique à haut débit. Ce système sera utilisé pour le transfert optique gigabit en espace libre entre une station mobile et une station fixe. Le projet LOHM est développé en partenariat avec : SURVEY Copter, IFREMER, ONERA, SILIOS et Shaktiware (dans le cadre de ce projet, une thèse financée par la région PACA et l'entreprise Shaktiware débutera en octobre 2006).

Valorisation de la recherche

L'équipe GSM collabore avec l'entreprise 3Dfeel (Marseille) et la société ST-Microelectronics sur les recherches concernant la reconnaissance de gestes dans le cadre du programme de recherche et développement « Rousset 2003-2008 » de la société ST Microelectronics. Projet : Interface homme-machine 3D pour environnement intelligent (une thèse est en cours - S. Conseil).

L'équipe GSM collabore avec la société ST Microelectronics le cadre du programme de recherche et développement « Rousset 2003-2008 » de la société ST Microelectronics. Projet : Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification (une thèse est en cours - W. Ketchantang).

IX.7. Doctorants GSM

IX.7.1. HdR soutenue

Mireille Guillaume, *Imagerie multicomposante : de l'estimation de paramètres à la reconstruction*, Université Paul Cézanne d'Aix-Marseille III, soutenue en décembre 2005.

IX.7.2. Thèses soutenues

Nom Année soutenance	Université	sujet	Direction de thèse	Bourse
D.Muti Déc. 2004	Paul Cézanne (Marseille)	Traitement du signal tensoriel – Application aux images en couleur et aux signaux sismiques	S Bourennane	MENRT
C. Carincotte Nov. 2005	Paul Cézanne (Marseille)	Segmentation non supervisée d'images par chaîne de Markov floue – Application à la détection de changements multi-dates	S Bourennane et S. Derrode	MENRT
M. Bouri Juin 2005	Pascal Paoli (Corté)	Localisation de sources sans décomposition en éléments propres de la matrice interspectrale	S. Bourennane	Région
R. Mezhoud * Nov. 2005	Manouba (Tunisie)	Indexation de bases d'images planes à l'aide d'invariants complets d'images à niveaux de gris	F. Ghorbel et S. Derrode	Financement tunisien
Z. Saidi Sept. 2006	ENSAM, (Paris)	Détection et localisation d'objets enfouis dans le sédiment marin	S. Bourennane et D. Daré	AER

(*) Thèse co-dirigée dans le cadre de la collaboration de l'équipe GSM et l'ENSI de Tunis.

IX.7.3. Thèses en cours

Nom Soutenance prévue	Université	Sujet	Direction de thèse	Bourse
W. Ketchantang Oct. 2007	Paul Cézanne (Marseille)	Méthodes de reconnaissance d'iris pour applications grand public	S. Bourennane et S. Derrode	CDD
S. Conseil Oct. 2007	Paul Cézanne (Marseille)	Reconnaissance de gestes en vision stéréoscopique	S. Bourennane	CDD
N. Renard Sept. 2008	Paul Cézanne (Marseille)	Traitement tensoriel et application à l'imagerie hyper-spectrale	S. Bourennane et M. Adel	DGA
Y. Caulier ⁽¹⁾ Sept. 2008	Paul Cézanne (Marseille) Co-tutelle	Mesure 3D à l'aide de capteurs 1D- applications à la détection de défauts ;	S. Bourennane et D. Steizer	Institut Fraunhofer
J. Marot Oct. 2007	Paul Cézanne (Marseille)	Segmentation d'images par les méthodes haute résolution	S. Bourennane	Région- entreprise
L. Martin Sept. 2008	Paul Cézanne (Marseille)	Traitement d'images pour la biométrie	S. Bourennane	Salarié ST- Microelectroni cs
J.-M. Gaucel Oct. 2006	Paul Cézanne (Marseille)	Traitement d'images multi-composantes – Applications hyper-spectrales	S. Bourennane et M. Guillaume	DGA
A. Moussaoui ⁽²⁾ Oct. 2008	ENPA (Alger)	Traitement d'image appliqué à la coronarographie en imagerie biomédicale	S. Bourennane, M. Adel et A. Belouchrani	Schlumberger

(1) Thèse en cotutelle avec l'université d'Erlangen, Institut Fraunhofer, Allemagne

(2) Thèse co-dirigée dans le cadre de collaboration avec l'Ecole nationale polytechnique d'Alger.

IX.8. GSM : bilan financier

IX.8.1. Subventions collectivités territoriales R3

Année	Compte n°	Titre	Chercheurs	Montant (en euros)
2003	4231R3	PS30 : Interface homme-machine 3D pour environnement intelligent.	S Bourennane	165 000
		PS29 : Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification.	S.Bourennane/S.Derrode	70 000
2004	4247R3	PS30 : Interface homme-machine 3D pour environnement intelligent.	S Bourennane	180 000
		PS29 : Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification	S.Bourennane/S.Derrode	65 000
2005	4275R3	PS30 : Interface homme-machine 3D pour environnement intelligent.	S Bourennane	55 000
		PS29 : Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification	S.Bourennane/S.Derrode	55 000
2006	4284R3	PS30 : Interface homme-machine 3D pour environnement intelligent.	S Bourennane	170 000
		PS29 : Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification	S.Bourennane/S.Derrode	65 000

IX.8.2. Contrat de recherche référencé C

Année	Compte n°	Origine	Chercheur	Montant En Euros
2003	350 C 7-21	CNES	S. Derrode / S. Bourennane	30 000

IX.8.3. Crédits récurrents (2003-2006)

Année	CNRS	MENRT U3		MENRT U1
	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
2003	2 280,75 €	3 826,01 €	832,21 €	0,00 €
2004	5 243,35 €	4 728,36 €	1 925,45 €	1 305,07 €
2005	6 945,27 €	6 671,37 €	0,00 €	1 610,99 €
2006	8 799,67 €	7 239,13 €	0,00 €	1 892,51 €

IX.9. Production scientifique GSM

IX.9.1. Publications dans des revues à comité de lecture

- [A25] S. Derrode et G. Mercier, Multiscale oil slick segmentation from SAR image using a vector HMC model, *Pattern Recognition*, Vol. 40(3) , pp. 1135-1147, available online 2006.
- [A24] Z. Saidi and S. Bourennane, Cumulant-based coherent signal subspace method for bearing and range estimation, *Eurasip J. on Applied Signal Processing*, article ID 84576, 2006.
- [A23] D. Muti and S. Bourennane, Survey on tensor signal algebraic filtering, *Signal Processing*, Vol. 87(2), pp. 237-249, available online 16 June 2006.
- [A22] M. Adel, D. Zuwala, M. Rasigni and S. Bourennane, Noise reduction on mammographic phantom images, *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, Vol. 5(4), pp. 64-74, 2006.
- [A21] S. Bourennane and J. Marot, Estimation of straight line offsets by a high resolution method, *IEE Vision, Image and Signal Processing*, Vol. 153(2), pp. 224-229, April 2006.
- [A20] S. Bourennane and J. Marot, Contour estimation by array processing method, *Eurasip J. on Applied Signal Processing*, Volume 2006 (2006), Article ID 95634, 15 pages.
- [A19] F. Ghorbel, S. Derrode, R. Mezhoud, T. Bannour and S. Dhahbi, Image reconstruction from a complete set of similarity invariants extracted from complex moments, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, pp. 1361-1369, September 2006.
- [A18] A. Rabhi, M. Adel et S. Bourennane, Segmentation d'images ultrasonores par les régions actives géodésiques, *Innovation Technologiques en Biologie et Médecine (ITBM-RBM)*, Vol. 27, pp. 8-18, 2006.
- [A17] M.A. Khalighi, J. Boutros and J.-F. Héland, Data-aided channel estimation for turbo-PIC MIMO detectors, *IEEE Communications Letters*, Vol. 10(5), pp. 350-352, May 2006.
- [A16] C. Carincotte, S. Derrode and S. Bourennane, Unsupervised change detection on SAR images using fuzzy hidden Markov chains, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 44(2), pp. 432-441, February 2006.
- [A15] D. Muti and S. Bourennane, Multidimensional filtering based on a tensor approach, *Signal Processing*, Vol. 85(12), pp. 2338-2353, December 2005.
- [A14] D. Muti and S. Bourennane, Multiway filtering based on fourth order cumulants, *Eurasip J. on Applied Signal Processing*, Vol. 7, pp. 1147-1159, May 2005.
- [A13] S. Bourennane and A. Bendjama, Localisation of moving sources in a multipath propagation environment, *Applied Acoustics*, Vol. 66, pp. 319-339, 2005.
- [A12] A. Haddouche, M. Adel, M. Rasigni and S. Bourennane, Statistical method for foveal detection in retinal angiograms, *Electronic Letters*, Vol. 41(11), pp. 632-633, May 2005.
- [A11] M. Bouri and S. Bourennane, High resolution methods based on rank revealing triangular factorizations, *Int. Journal of Signal Processing*, Vol. 1(4), pp. 274-277, 2004.
- [A10] S. Bourennane and A. Bendjama, Identification of wideband sources using higher order statistics in noisy environment, *Int. J. of Signal Processing*, Vol. 1(4), pp. 269-273, 2004.
- [A9] Z. Saidi, A.O. Boudraa, J.C. Cexus and S. Bourennane, Time delay estimation using cross-psi-energy operator, *Int. J. of Signal Processing*, Vol. 1(1), pp. 6-10, 2004.
- [A8] S. Bourennane, Array processing methods for identifying buried objects, *J. of the Acoustical Society of America*, Vol. 115(5), pp. 2547-, May 2004.
- [A7] G. Mercier, S. Derrode et W. Pieczynski, Segmentation multi-échelle de nappes d'hydrocarbure, *Traitement du Signal*, Vol. 21(4), pp. 329-346, 2004.
- [A6] S. Derrode et W. Pieczynski, Unsupervised signal and image segmentation using pairwise Markov chains, *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 52(9), pp. 2477-2489, September 2004.
- [A5] S. Derrode et F. Ghorbel, Shape analysis and symmetry detection in gray-level objects using the analytical Fourier-Mellin representation, *Signal Processing*, Vol. 84(1), pp. 25-39, January 2004.

- [A4] M. Adel, V. Guis et M. Rasigni, Etude de la faisabilité du scorage automatique de fantômes mammographiques par traitement d'images, *Innovation Technologiques en Biologie et Médecine (ITBM-RBM)*, Vol. 25, pp. 313-323, 2004.
- [A3] M. Guillaume, S. Bourennane et F. Hermann, Estimation de mouvements et reconstruction d'images à partir de séquences à faible flux, *Traitement du signal*, Vol. 20(2), pp. 213-224, 2003.
- [A2] S. Bourennane and A. Bendjama, Locating wideband sources using higher-order statistics, *Applied Acoustics*, Vol. 63(3), pp. 235-251, 2002.
- [A1] S. Bourennane, A. Bendjama and J.-P. Sessarego, Propagator method for finding wideband source parameters, *Applied Acoustics*, Vol. 63(3), pp. 253-281, 2002.

IX.9.2. Communications dans congrès internationaux avec comité de lecture et actes

- [C58] N. Renard, S. Bourennane and J. Blanc-Talon *The multiway filtering applied on hyperspectral images*, IEEE Int. Conf. On Advanced Concepts for Vision Systems (ACIVS'06), Antwerp (Belgium), September 18-21, 2006.
- [C57] J.-M. Gaucel, M. Guillaume and S. Bourennane, *Non Orthogonal Component Analysis: Application to Anomaly detection*, IEEE Int. Conf. On Advanced Concepts for Vision Systems (ACIVS'06), Antwerp (Belgium), September 18-21, 2006.
- [C56] J.-M. Gaucel, M. Guillaume and S. Bourennane, *Adaptive-3D-Wiener for hyperspectral image restoration: influence on detection strategy*, EUSIPCO'06, Florence (Italy), Sept 4-8, 2006.
- [C55] G. Mercier, S. Derrode, W. Pieczynski, J.-M. Nicolas, A. Joannic-Chardin and J. Inglada, Copula-based stochastic kernels for abrupt change detection, IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'06), Denvers (Colorado, USA), July 31-August 4, 2006.
- [C54] M.A. Khalighi, J.-F. Héland, and S. Bourennane, *Choice of appropriate space-time coding scheme for MIMO systems employing channel coding under BICM*, IEEE Int. Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC'06), Cannes (France), July 2-5, 2006.
- [C53] Z. Saidi and S. Bourennane, *Bearing and range estimation of buried cylindrical shell in presence of sensor phase errors*, EUropean Signal Processing COncference (EUSIPCO'06), Florence (Italy), Sept. 4-8, 2006.
- [C52] S. Bourennane and J. Marot, *Optimization and interpolation for distorted contour estimation*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'06), Toulouse, May 14-19, 2006.
- [C51] S. Derrode, L. Benyoussef and W. Pieczynski, Contextual estimation of hidden Markov chains with application to image segmentation, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'06), Toulouse (France), May 14-19, 2006.
- [C50] S. Derrode, M.A. Chermi and F. Ghorbel, Fourier-based invariant shape prior for snakes, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'06), Toulouse, May 14-19, 2006.
- [C49] Z. Saidi and S. Bourennane, *Localization of buried spherical shells based on wideband signals*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'06), Toulouse, May 14-19, 2006.
- [C48] M.A. Chermi, S. Derrode and F. Ghorbel, Euclidean invariant snake for joint stereo segmentation, IEEE Int. Conf. Information and Communication Technologies: from Theory to Applications (ICTTA'06), Damascus (Syria), April 24-28, 2006.
- [C47] M. Guillaume, A. Llebaria, D. Aymeric, S. Arnouts, and B. Milliard, *Deblending of the UV photometry in GALEX deep surveys using optical priors in the visible wavelengths*, Electronic Imaging, San Jose (CA, USA), SPIE Vol. 6064 : Image Processing: Algorithms and Systems, Neural Networks, and Machine Learning, pp. 332-341, 15-19 January 2006.
- [C46] M.A. Khalighi and J.-F. Héland, *Should MIMO orthogonal space-time coding be preferred to non-orthogonal coding with iterative detection?*, Int. Symp. on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT'05), Athens (Greece), pp. 340-345, December 18-21, 2005.

- [C45] F. Ghorbel, S. Derrode, S. Dhahbi and R. Mezhoud, Reconstructing with geometric moments, Int. Conf. on Machine Intelligence (ACIDCA-ICMI'05), Tozeur (Tunisia), November 5-7, 2005.
- [C44] W. Ketchantang, S. Derrode, S. Bourennane and L. Martin, Video pupil tracking for iris based identification, IEEE Int. Conf. On Advanced Concepts for Vision Systems (ACIVS'06), Antwerp (Belgium), Springer LN 3708, September 20-23, 2005.
- [C43] S. Conseil, S. Bourennane and L. Martin, *Three dimensional fingertip tracking in stereovision*, ACIVS'06, Antwerp (Belgium), Springer LN 3708, Sept. 20-23, 2005.
- [C42] Z. Saidi and S. Bourennane, *Bearing and range estimation using wideband MUSIC method*. European Signal Processing Conference (EUSIPCO'05), Antalya (Turkey), September 4-8, 2005.
- [C41] Z. Saidi and S. Bourennane, *Buried objects localisation in presence of correlated signals*, IEEE Workshop on Statistical Signal Processing (SSP'05), Bordeaux (France), July 17-20, 2005.
- [C40] C. Carincotte, S. Derrode and S. Bourennane, Multivariate fuzzy hidden Markov chains model applied to unsupervised multiscale SAR image segmentation, IEEE Int. Conf. On Fuzzy Systems (FUZZ IEEE'05), Reno (Nevada, USA), pp. 288-293, May 22-25, 2005.
- [C39] N. Brunel, W. Pieczynski and S. Derrode, Copulas in vectorial hidden Markov chains for multicomponent image segmentation, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'05), Philadelphia (USA), Vol. 2, pp. 717-720, March 19-23, 2005.
- [C38] D. Muti and S. Bourennane, *Improvement of multi-mode-PCA based filtering using fourth order cumulants*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'05), Philadelphia (PA, USA), March 19-23, 2005.
- [C37] S. Bourennane and J. Marot, *Line parameter estimation by array processing methods*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'05), Philadelphia, March 19-23, 2005.
- [C36] J.-M. Gaucel, M. Guillaume and S. Bourennane, *Whitening spatial correlation filtering for hyperspectral anomaly detection*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'05), Philadelphia (PA, USA), March 19-23, 2005.
- [C35] M. Adel, V. Guis, M. Rasigni and S. Bourennane, *Feasibility study of automating breast phantom scoring using image processing techniques*, Annual Symp. on Electronic Imaging Science and Technology SPIE, Image Processing conf.: Algorithms and systems IV, San José (USA), January 16-20, 2005.
- [C34] G. Mercier and S. Derrode, SAR image change detection using distance between distributions of classes, IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'04), Anchorage (Alaska, USA), Vol. 6, pp. 3872-3875, September 20-24, 2004.
- [C33] D. Zuwala, M. Adel and M. Rasigni, *Noise reduction in mammographic phantom images using local contrast enhancement techniques*, Int. Workshop on Digital Mammography (IWDM 2004), Duram, (NC, USA), June 18-21, 2004.
- [C32] S. Derrode, C. Carincotte et S. Bourennane, Unsupervised image segmentation based on high-order hidden Markov chain, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'04), Montreal (Canada) , May 17-21, 2004.
- [C31] D. Muti, S. Bourennane et M. Guillaume, *SVD based image filtering improvement by means of image rotation*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'04), Montréal (Canada), May 17-21, 2004.
- [C30] C. Carincotte, S. Derrode, G. Sicot et J.-M. Boucher, Unsupervised image segmentation based on a new fuzzy HMC model, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'04), Montréal (Canada), May 17-21, 2004.
- [C29] D. Muti and S. Bourennane, *Multidimensional estimation based on tensor decompositions*, IEEE Workshop on Statistical Signal Processing (SSP'03), Saint Louis (Missouri, USA), Sept. 28 - October 1, 2003.

- [C28] S. Derrode, G. Mercier and W. Pieczynski, Unsupervised multicomponent image segmentation combining a vectorial HMC model and ICA, IEEE Int. Conf in Image Processing (ICIP'03), Barcelona (Spain), September 14-17, 2003.
- [C27] S. Derrode, G. Mercier and W. Pieczynski, Unsupervised change detection in SAR images using a multicomponent HMC model, MultiTemp'03, Ispra (Italy), July 16–18, 2003. Also : In "Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images", Vol. 3, Series in Remote Sensing, Paul Smits and Lorenzo Bruzzone Editors, World Scientific edition.
- [C26] G. Mercier, S. Derrode, W. Pieczynski, JM. Lecailllec and R. Garello, Multiscale oil slick segmentation with Markov chain model, IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03), Toulouse (France), July 21-25, 2003.
- [C25] G. Mercier, S. Derrode and M. Lennon, Hyperspectral image segmentation with Markov chain model, IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03), Toulouse (France), July 21-25, 2003.
- [C24] D. Muti and S. Bourennane, *Multidimensional signal processing using lower-rank tensor approximation*, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'03), Hong Kong (China), April 6-10, 2003.
- [C23] D. Muti and S. Bourennane, *Fast optimal lower-rank tensor approximation*, IEEE Int. Symp. on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT'02), Marrakesh (Morocco), Dec. 18-21, 2002.
- [C22] S. Derrode et F. Ghorbel, Shape distance for rotation estimation and rotational symmetry detection in gray-level images, European Signal Processing Conf. (EUSIPCO'02), Toulouse (France), September 3-6, 2002.
- [C21] S. Derrode et W. Pieczynski, SAR image segmentation using generalized pairwise Markov chains, 9th SPIE-RS'02, Crete (Greece), September 23-27, 2002.

IX.9.3. Communications dans congrès francophones avec comité de lecture et actes

- [C20] S. Derrode et C. Carincotte, Applications des chaînes de Markov floues à la segmentation non supervisée d'images, Ateliers Traitement et Analyse de l'Information : Méthodes et Applications (TAIMA'05), pp. 193-198, Hammamet (Tunisie), 26 septembre - 1 octobre 2005.
- [C19] K. Haddouche, M. Adel, M. Rasigni et S. Bourennane, *Segmentation bayésienne de la zone avasculaire centrale sur des angiographies rétiniennes*, Traitement et Analyse de l'Information. Méthodes et Applications (TAIMA'05), Hammamet (Tunisie), 26 septembre - 1 octobre 2005.
- [C18] Z. Saidi et S. Bourennane, *Méthode MUSIC large bande pour la localisation d'objets enfouis dans les sédiments marins*. Ateliers de Traitement et d'Analyse de l'Information : Méthodes et Applications (TAIMA'05), Hammamet (Tunisie), 28 septembre – 1 octobre 2005.
- [C17] Z. Saidi et S. Bourennane, *Méthode haute résolution large bande pour la localisation d'objets enfouis*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Louvain-La-Neuve (Belgique), 6-9 septembre 2005.
- [C16] Z. Saidi, S. Bourennane, A. Boudraa et D. Dare, *Estimation de directions d'arrivée en présence d'erreur de phase*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Louvain-La-Neuve (Belgique), 6-9 septembre 2005.
- [C15] S. Conseil et S. Bourennane, *Suivi tridimensionnel en stéréovision*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Louvain-La-Neuve (Belgique), 6-9 septembre 2005.
- [C14] A. Haddouche, M. Adel, M. Rasigni et S. Bourennane, *Détection par des méthodes statistiques des contours de la zone avasculaire centrale sur des angiographies rétiniennes numériques*, Journées d'études Algéro-Française en imagerie médicale, JETIM'2004, Blida (Algérie), 29 nov. - 1 déc. 2004.

- [C13] C. Carincotte, S. Derrode et J.-M. Boucher, Chaînes de Markov cachées floues et segmentation non supervisée d'images, Logique Floue et Applications (LFA'04), Nantes (France), Novembre 18-19, 2004.
- [C12] S. Derrode et W. Pieczynski, Segmentation non supervisée d'images par chaîne de Markov couple, Ateliers Traitement et Analyse de l'Information : Méthodes et Applications (TAIMA'03), Hammamet (Tunisia), 26 septembre - 3 octobre 2003.
- [C11] D. Muti et S. Bourennane, *Traitement multidimensionnel du signal par décomposition tensorielle*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Paris, 8-11 septembre 2003.
- [C10] A. Rabhi, S. Bourennane, P. Montesinos et M. Dauzat, *Segmentation d'images ultrasonores*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Paris, 8-11 septembre 2003.
- [C9] M. Bouri et S. Bourennane, *Méthodes de traitement d'antenne revisitées*, Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Paris, 8-11 septembre 2003.

IX.9.4. Séminaires et conférences invitées

- [C8] M. Guillaume, *Méthodes et apports de l'imagerie hyperspectrale*, Séminaire de l'observatoire de la côte d'Azur, 9 mai 2006.
- [C7] M. Guillaume, J.-M. Gaucel et S. Bourennane, *Détection subpixel en imagerie hyperspectrale*, Journées DGA / GDR ISIS, Imagerie hyperspectrale : apports pour la défense et la sécurité, 9-10 jan 2006.
- [C6] M. Guillaume, J.-M. Gaucel et S. Bourennane, *Détection en imagerie hyperspectrale, Influence de la réduction du bruit*, Journées DGA / GDR ISIS, Imagerie hyperspectrale : apports pour la défense et la sécurité, 9-10 janvier 2006.
- [C5] S. Bourennane et D. Muti, *Traitement du signal tensoriel*, Ateliers de Traitement et d'Analyse de l'Information : Méthodes et Applications (TAIMA'05), Hammamet (Tunisie), 28 sept.-1 oct.2005.
- [C4] S. Derrode et C. Carincotte, Chaînes de Markov cachées floues et segmentation d'images, séminaire RFIA du LORIA/INRIA Lorraine (invité par J.-P. Haton), 14 mars 2005, Vandoeuvre-les-Nancy (Loria / Inria Lorraine), France.
- [C3] S. Derrode, N. Brunel et W. Pieczynski, Parametric estimation methods of multivariate data for multicomponent image segmentation, Journée "Analyse d'images multispectrales" de l'Observatoire de Strasbourg (invité par A. Schaaff), Strasbourg (France), 15 mars 2005.
- [C2] W. Ketchantang, S. Derrode, S. Bourennane et L. Martin, Acquisition d'images pour la reconnaissance d'iris et études de nouvelles méthodes d'identification, Cognitive Imaging (PACA Program), Rousset (France), November 16, 2005.

IX.9.5. Congrès sans comité de lecture avec actes

- [C1] G. Mercier, S. Derrode, W. Pieczynski, J.-M. Lecaillon et R. Garello, Multiscale oil slick segmentation with Markov chain model, SEE Proc. of Radar and Marine Environment Workshop, Brest (France), June 10, 2003.

IX.9.6. Editions

- [E2] F. Ghorbel, S. Derrode, J.-P. Haton et L. BenYoussef, Éditeurs, Actes des ateliers TAIMA'05, Edité en Tunisie, Septembre 2005, ISBN: 9973-61-039-3.
- [E1] F. Ghorbel, S. Derrode, T. Bannour et R. Deriche, Editeurs, Actes des ateliers TAIMA'03, 445 pages, Edité en Tunisie, Septembre 2003, ISBN: 9973-51-138-71.

X - THEMATIQUE COM, RAPPORT SCIENTIFIQUE

	EC*0,5 + Chercheurs	RICL	Budget (K€ HT)
O.I.	2	19	399

« Effectifs » chercheurs 100% au 01/11/06, RICL 02-06, Budget 03-06

NOM Prénom	Etablissement ou Organisme	Statut	O.I. %	Date d'arrivée dans l'équipe
FLORY François	EGIM	Ens-chercheur	1	janv-84
ESCOUBAS Ludovic	EGIM	Ens-chercheur	1	sept-98
TORCHIO Philippe	U3	Ens-chercheur	1	mars-97
SIMON Jean-Jacques	U3	Ens-chercheur	1	sept-02
Total servant au calcul de la répartition des crédits			4	

Thématique O.I. : Effectifs au 01/11/06

**Les acteurs de cette thématique sont appelés, pour le prochain quadriennal, à rejoindre la nouvelle UMR TECSSEN/L2MP au sein d'une équipe « Composants pour l'Optoélectronique et la Conversion Photovoltaïque »*

X.1. Résumé des travaux de recherche

Depuis la création de l'équipe MOSAIC fin 2004, l'ex équipe COM mène plusieurs actions de recherches associant pour chacune d'elle une problématique liée aux détecteurs optiques et à la micro/nano structuration de la matière. Plus précisément, il s'agit de contrôler et de moduler, par structuration des matériaux, l'indice de réfraction pour accroître les performances des détecteurs. Les travaux menés s'appuient ainsi sur l'étude des phénomènes d'interaction de la lumière avec la matière micro ou nanostructurée. Notre approche consiste à associer étroitement théorie, réalisation et caractérisation en gardant le souci de l'application. Ces travaux utilisent largement les compétences de l'équipe en optique intégrée acquises au fil des ans. Les actions de recherche menées portent sur :

- **les composants d'optique intégrée (activité historique de l'équipe)**
- **les détecteurs optiques : antireflets structuraux pour les imageurs infra-rouge, microcapteurs optiques pour la détection des gaz, photopiles solaires organiques**

Pendant la période considérée, parallèlement à son activité de recherche sur les thèmes précédemment cités, l'équipe a également mis en place **une plateforme de réalisation de micro et nano composants optiques** dans le cadre d'un projet labellisé par le CREMSI et le pôle Pop Sud. Ce projet a obtenu des fonds FEDER et FSE qui ont permis de mettre en place une salle blanche équipée des moyens de micro et nanostructuration indispensable à nos travaux ainsi que deux salles de caractérisation : l'une étant dédiée à la métrologie des composants optiques en ondes guidées, l'autre étant dédiée à la métrologie optique associée aux microcapteurs de gaz.

Les travaux de l'équipe sont décrits plus en détails dans les paragraphes qui suivent. Nous précisons ensuite les perspectives de recherche pour le prochain quadriennal. La dernière partie de ce rapport résume la production scientifique de l'ex-équipe COM.

X.2. Composants d'optique intégrée

Les travaux sur les composants d'optique intégrée ont débuté à la fin des années 90 en collaboration avec la société Ion Beam Service (IBS). Ils ont permis la mise au point d'une filière technologique nouvelle basée sur l'implantation d'ions et ont conduit à la création de la Société Silios Technologies (Spin-off d'IBS). La thèse d'Emmanuel Drouard (2000-2003) a également porté sur ce sujet en collaboration avec Silios Technologies. Les principaux résultats de cette thèse portent sur la mise au point de composants passifs réalisés par implantation d'ions tels que des filtres de longueurs d'onde, des adaptateurs de modes, etc ... Cette activité a donné lieu à plusieurs brevets.

Les travaux sur les composants optiques pour les télécommunications se poursuivent maintenant, en collaboration étroite avec la société Moduloptic, sur la réalisation de modulateurs optiques haute fréquence (40 GHz) insensibles à l'état de polarisation de la lumière. La thèse de Thomas Mangeat (2003-2006) porte sur ce sujet où il s'agit d'hybrider des fonctions d'optique intégrée passives (rotation et sélection de la polarisation) – voir figure 1 - et actives (modulation haute fréquence par des modulateurs en niobate de lithium)¹. Les fonctionnalités passives de rotation et de séparation des états de polarisation ont été démontrées et la soutenance de thèse de Thomas Mangeat est prévue fin octobre 2006.

¹ T. Mangeat, L. Escoubas, F. Flory, M. De Micheli, P. Coudray, "Integrated polarization converter made of sputtered inorganic Ta₂O₅ and silica sol-gel thin films", Conference presented at Integrated Photonics Research and Applications OSA Topical Meeting (IPRA) and Nanophotonics Topical Meeting (NANO), Uncasville, Connecticut USA (2006)

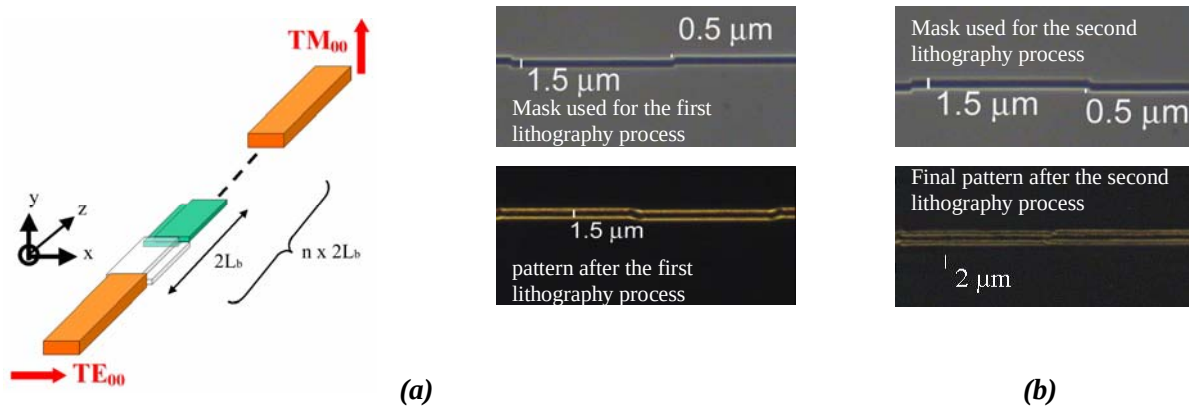


Figure 1 : (a) Schéma de principe d'un composant d'optique intégrée composé de sections décalées permettant une rotation complète de l'état de polarisation de la lumière (passage de 98% de l'énergie de TE vers TM) : une alternance de sections de guide décalées est utilisée. (b) Images en microscopie optique des premiers démonstrateurs réalisés : deux étapes de photolithographie et un dépôt de couche mince sont nécessaires.

X.3. Détecteurs optiques

X.3.1. Antireflets structuraux pour les imageurs infra-rouge

La structuration des matériaux à des échelles sub longueur d'onde permet d'envisager de conférer aux surfaces optiques des propriétés anti-reflet. Nous avons initié en 2001 une activité de recherche portant sur la furtivité optique dans la cadre d'un contrat avec la société Thalès Optronique. Il s'agit dans cette étude d'améliorer les propriétés de détection en concevant des antireflets dans les domaines de longueur d'onde de l'infrarouge (bandes 3-5 μm et 8-12 μm) qui utilisent une structuration de surface (voir figure 2). Ces antireflets appelés « antireflets structuraux » ont été obtenus en surface du silicium. Un premier démonstrateur a été réalisé et caractérisé en 2003² avec un facteur de réflexion inférieur à 2% dans le domaine spectral considéré (le silicium non structuré présentant un facteur de réflexion de 35 % en incidence normale).

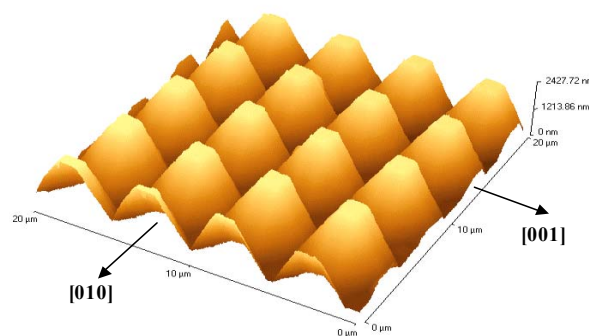


Figure 2 : Cartographie par microscopie à force atomique (AFM) de la surface d'un antireflet structural réalisé en salle blanche à l'Institut Fresnel.

² L. Escoubas, J.J. Simon, M. Loli, G. Berginc, F. Flory, H. Giovannini, "An antireflective silicon grating working in the resonance domain for the near infrared spectral region", Optics Communications, **226**, p 81 – 88, 2003

X.3.2. Microcapteurs optiques pour la détection des gaz

Les travaux antérieurs de l'équipe ont permis d'acquérir des compétences de pointe sur l'étude des propriétés des matériaux en couches minces en utilisant des dispositifs d'excitation de modes guidés dans l'épaisseur des couches. Nous avons mis à profit ces connaissances pour concevoir des capteurs optiques ultra sensibles utilisant des micro-composants pour détecter, en ondes guidées, la présence de nano-objets (molécules de gaz, particules). Il s'agit donc d'utiliser la résonance électromagnétique correspondant à un mode guidé et de mesurer la perturbation des conditions de guidage de ce mode induite par la présence de l'objet recherché (voir figure 3). Nous avons travaillé en partenariat avec la société Cybernetix SA pour mettre au point à la fois des matériaux en couches minces dont l'indice de réfraction varie sous l'effet du gaz butane et un principe de détection optique.

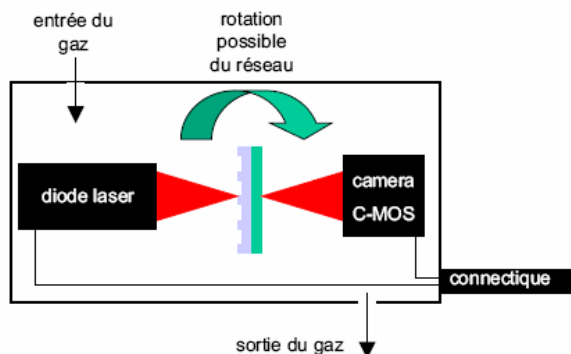


Figure 3 : Schéma de principe d'un micro-capteur à gaz incluant une diode laser, une caméra CMOS et un réseau coupleur permettant d'exciter une résonance (mode guidé) dans un guide d'onde planaire constitué d'un matériau sensible au gaz à détecter. La caméra CMOS permet de détecter le déplacement de la ligne noire correspondant à la résonance sous l'effet du gaz. Ce déplacement est consécutif aux variations d'indice de réfraction du matériau en présence du gaz.

Ces travaux sur les micro-capteurs optiques pour les gaz ont bénéficié du soutien du CNRS avec deux projets JEMSTIC en 2001 et 2002, d'un soutien du CR PACA en 2004 et du projet Européen IST 5^{ème} PCRD Nanophos. Dans le cadre de ce projet Européen, nous avons étudié de nombreux matériaux en couches minces fournis par les différents partenaires du projet. Ces matériaux présentaient une morphologie et une structure à l'échelle nanométrique destinées à accroître la sensibilité du matériau au gaz. La thèse de Thomas Mazingue (financement cifre par la société Cybernetix) a été soutenue en 2005 sur ce sujet³.

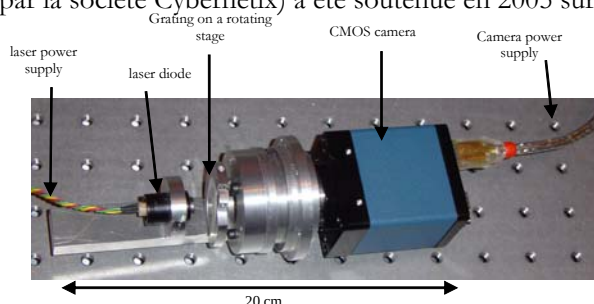


Figure 4 : Photographie du prototype réalisé à l'Institut Fresnel pour la détection de gaz. Ce prototype est en cours de test.

³ T. Mazingue, L. Escoubas, L. Spalluto, F. Flory, G. Socol, C. Ristoscu, E. Axente, S. Grigorescu, I. N. Mihailescu, N. Vainos, « Nanostructured ZnO coatings grown by pulsed laser deposition for optical gas sensing of butane », Journal of Applied Physics, **98**, 074312 (2005)

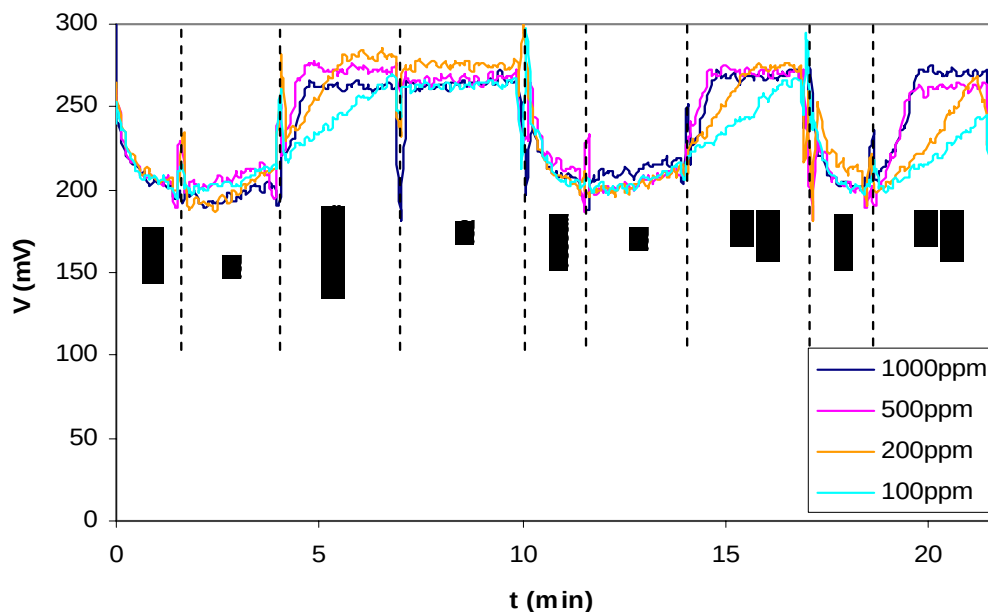


Figure 5 : Mesures réalisées en présence de différentes concentration de butane dans l'azote (1000 ppm à 100 ppm). On note l'influence de la concentration sur la cinétique de réponse du capteur. La couche sensible utilisée est constituée d'oxyde de Zinc (ZnO) déposé par ablation laser et présente une morphologie constituée de microcristallites.

Nous avons travaillé dans le cadre du projet Nanophos, sur le développement d'un prototype simple de capteur à gaz incluant une source optique de type diode laser, un réseau gravé dans un guide d'onde planaire réalisé dans une couche de matériau sensible au gaz et un détecteur linéaire ou une caméra CMOS (voir figure 4). Le réseau gravé sert à exciter un mode guidé dans la couche de matériau sensible au gaz. Le détecteur linéaire permet de suivre le décalage de la ligne de mode (line noire ou m-line) sous l'influence du gaz. Nous avons réalisé la démonstration de principe de ce type de détection (voir figure 5) pour des concentrations comprises entre 100 et 1000 ppm de butane dans l'air sec ou l'azote.

De plus, Une collaboration étroite est établie avec le Laboratoire de Matériaux et Microélectronique de Provence (L2MP – Equipe du Professeur K. Aguir) sur la réalisation de micro-capteurs hybrides, optiques et électriques, pour accroître la sensibilité et la spécificité de ces capteurs. Nous avons d'ailleurs déposé ensemble un brevet sur ces capteurs hybrides.

X.3.3. Photopiles solaires organiques

Nous avons initié, depuis maintenant deux ans et demi, une thématique de recherche sur l'optimisation optique des cellules solaires organiques pour accroître leur rendement photovoltaïque. Ces cellules sont constituées de deux électrodes métalliques et d'un empilement de couches minces incluant une couche organique permettant de réaliser la conversion photon – électron (voir figure 6).

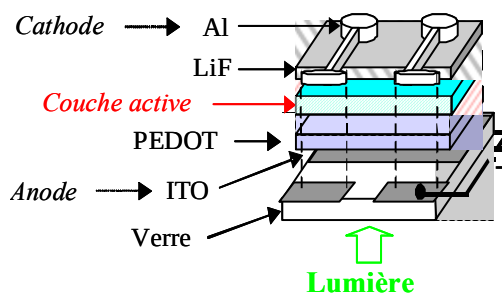
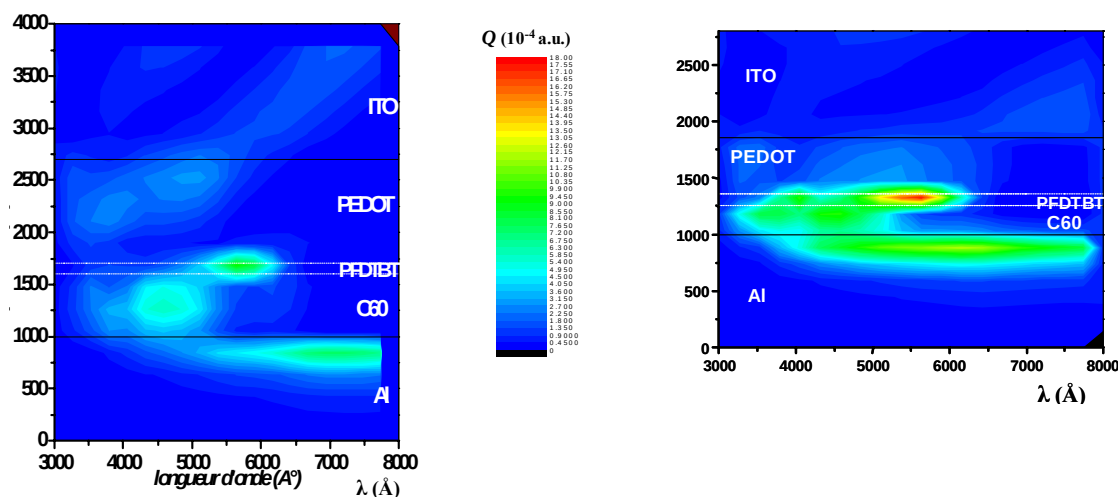


Figure 6 : Schéma de principe d'une cellule solaire organique. Les couches très fines de PEDOT et de LiF permettent de planariser les surfaces et d'améliorer la collecte des charges. L'ITO permet de constituer une électrode métallique transparente. La couche active peut être un mélange de deux matériaux organiques (un donneur et un accepteur) et constitue dans ce cas un réseau interpénétré.

Les axes de ces travaux concernent la caractérisation optique des matériaux en couches minces constitutifs de ces cellules (nous avons établi une collaboration étroite avec la société SOPRA pour réaliser ces caractérisations par ellipsométrie spectroscopique) et l'optimisation du champ électromagnétique au voisinage de la zone de conversion photon-électron (voir figure 7). La thèse de Florent Monestier a débuté sur ce sujet en Septembre 2004. Nous avons pu démontrer que l'optimisation automatique des épaisseurs des couches minces constitutives de la cellule, à l'aide d'un programme de calcul que nous avons développé spécifiquement, permet d'accroître le rendement de conversion de ces cellules organiques⁴.



(a)

(b)

Figure 7 : Répartition de l'absorption d'énergie calculée dans l'épaisseur et en fonction de la longueur d'onde avec les codes développés à l'Institut Fresnel pour une cellule solaire organique dont la zone active est un bicouche C60 – polymère PFDT BT. On remarque que la cellule optimisée (b) présente une absorption bien plus grande dans la zone active que la cellule non optimisée (a).

⁴ F. Monestier, Ph. Torchio, J.-J. Simon, L. Escoubas, M. Cathelinaud, "Demonstration of a Software for Automatic Optimization of the Electromagnetic Field in Organic Solar Cells", accepté pour publication dans J of Non Linear Optics and Quantum Optics (2006)

X.4. Perspectives de recherches pour le prochain quadriennal dans le cadre de l'équipe OPTO-PV (Composants pour l'Optoélectronique et le Photovoltaïque) du Laboratoire TECSSEN (Université Paul Cézanne)

X.4.1. Composants d'optique intégrée

Nous sommes partenaires du projet FIMEBCO qui a été labellisé en Février 2006 par le pôle photonique « Systèmes complexes d'optique et d'imagerie ». Ce projet, piloté par la société Moduloptic, vise à mettre en place les moyens et les procédés pour réduire au minimum les pertes d'insertion lors des opérations de fibrage et de mise en boîtier de composants optiques intégrés. Les procédés à étudier sont ceux qui permettent de créer aux deux extrémités des composants, des zones de transition où l'on fait varier la taille des modes supportés par les guides afin de l'adapter à celle des modes des fibres utilisées (fibres télécoms standard ou à maintien de polarisation).

Le projet FIMEBCO s'inscrit dans la continuité des travaux de la thèse de Thomas Mangeat. Le projet FIMEBCO prévoit

- de concevoir les adaptateurs de modes en optique intégrée nécessaires pour réaliser le couplage
- de mettre en place le banc de couplage permettant de coupler efficacement les composants passifs pour le contrôle de l'état de polarisation des ondes avec les modulateurs en niobate de lithium
- de développer les colles d'indices spécifiques qui permettront ce couplage

Dans ce projet, l'activité de l'équipe sera tournée vers la modélisation et les caractérisations des composants permettant l'adaptation des tailles de modes en créant des zones de transition adaptées.

X.4.2. Détecteurs optiques :

X.4.2.1. Antireflets structuraux pour les imageurs infra-rouge :

Les travaux sur ce sujet se poursuivent à l'heure actuelle en partenariat avec Thalès Optronique dans le cadre de la thèse de Renaud Bouffaron (démarrée en octobre 2006 et financée par la DGA) et d'un projet de REI (Recherches Exploratoires et Innovations – démarré en octobre 2006) de la DGA. L'objectif est d'élargir la compréhension des effets anti-reflet qui peuvent se produire avec des surfaces micro ou nano structurées travaillant dans le domaine de résonance, c'est à dire en dehors du domaine de validité des théories de l'homogénéisation. Les micro-structurations ayant des dimensions voisines de la longueur d'onde nous utiliserons des codes numériques rigoureux de type Finite Difference Time Domain (Fullwave) et méthode modale (développé par l'équipe CLARTE) pour résoudre les équations de Maxwell. Nous envisageons de réaliser ces surfaces antireflet microstructurées en utilisant les moyens technologiques que nous avons mis en place en salle blanche au laboratoire.

X.4.2.2. Microcapteurs optiques pour la détection des gaz :

Nous sommes l'un des partenaires du projet MICRODESC labellisé en Février 2006 par le pôle photonique «Systèmes complexes d'optique et d'imagerie». Ce projet, piloté par la société Kloé, comprend trois autres partenaires : le Centre d'Electronique et de Micro-électronique de Montpellier - CEM2 (UMR 5507), le Laboratoire des Colloïdes Verres et Nanomatériaux - LCVN (UMR 5587) et la société VEGATEC. Le projet vise la réalisation d'un démonstrateur de principe, étape devant la réalisation industrielle et s'inscrit dans la continuité des travaux que nous avons menés au cours de la thèse de Thomas Mazingue et dans le cadre du projet Européen Nanophos. L'idée est d'utiliser un nouveau composant optique pour la

détection optique des gaz : il s'agit d'un composant d'optique intégrée du type « Multimode Interference » (MMI). Le matériau sensible dont l'indice de réfraction varie sous l'effet d'un gaz sera développé conjointement par le Centre d'Electronique et de Micro-électronique de Montpellier et le Laboratoire des Colloïdes Verres et Nanomatériaux, les composants d'optique intégrée MMI par la société KLOE. L'activité de notre groupe portera sur la caractérisation des matériaux et les tests de composants en collaboration avec la société VEGATEC.

X.4.2.3. Photopiles solaires organiques

Nous faisons partie du réseau national NanoOrgasol qui s'est structuré ces deux dernières années autour de la thématique cellules solaires organiques et nous avons pris part au projet ANR NanoOrgysol (pilote par le CEA Saclay – Liten) qui porte sur cette thématique et qui a démarré en janvier 2006. Dans le cadre de ce projet, nos travaux visent à caractériser optiquement ou par diffraction de rayons X la morphologie des matériaux moléculaires utilisés en tant que couche active des cellules organiques. Il s'agit de comprendre le lien qui existe entre la nanostructure des matériaux (présence d'agrégats, taille des agrégats) qui dépend des conditions de fabrication et les propriétés de collecte des photons et de transport des charges (excitons).

Nous envisageons aussi d'étudier des microstructures permettant d'exciter des résonances plasmons au niveau des interfaces entre électrodes et couches actives pour accroître les rendements de conversion.

Nous avons également plusieurs projets qui démarrent en collaboration avec différentes équipes : avec l'équipe de Jean-Michel Nunzi au laboratoire POMA à Angers : Etude de démonstrateurs de cellules optimisées du point de vue électromagnétique.

- Avec le CEA Grenoble (laboratoire de physique des métaux synthétiques – équipe de Frédéric Chandezon) : Caractérisation et utilisation de nanocristaux de SC à gap ajustable pour remplacer les fullerènes et optimiser l'absorption de la lumière solaire en jouant sur la taille des nanocristaux et/ou sur le gap du polymère conjugué.

- Avec le laboratoire GCOM2 de l'Université de la Méditerranée (groupe de Jorg Ackermann) : Caractérisation optique, morphologique et électrique de réseaux interpénétrés de P3HT et de ZnO nanostructuré.

- Avec le CEA Saclay (Laboratoire Composants Solaires DRT / LITEN / DTS / LCS – Equipe de Rémy de Bettignies) : Caractérisation optique, morphologique et électrique de réseaux interpénétrés de P3HT et de PCBM.

- Avec le Laboratoire de Génie Electrique de Toulouse (LGET – équipe d'Isabelle Seguy) : Optimisation d'une cellule tandem incluant des molécules discotiques. L'intérêt de telles molécules réside dans le fait qu'il est possible de les "empiler" (structure colonnaire) et d'espérer ainsi favoriser le transport des charges. Le matériau donneur est un triphénylène (T602) et l'accepteur un dérivé de pérylène (BP3I5).

X.5. Thèses de doctorat et HDR

"Composants optiques micro - structurés par implantation d'ions", thèse de Doctorat soutenue le 08/07/2003, E. Drouard, co-directeurs : L. Escoubas (80%), F. Flory (2000 - 2003)

«Modélisations, réalisations et caractérisations de micro-composants optiques : Propriétés optiques et thermiques de couches minces – Applications aux communications optiques et aux capteurs», Habilitation à Diriger les Recherches de L. Escoubas, Parrainage : Prof François Flory, (2003)

"Micro-systèmes pour la détection optique d'espèces chimiques ou bio-chimiques", thèse de Doctorat soutenue le 21/09/2005, T. Mazingue, co-directeurs : L. Escoubas (80%), F. Flory (2002 - 2005)

"Hybridation de composants actifs et passifs en optique intégrée", thèse de Doctorat, T. Mangeat, co-directeurs : L. Escoubas (80%), F. Flory (2003 - 2006)

"Accroissement du rendement de photopiles organiques par confinement optique à l'aide de cristaux photoniques", thèse de Doctorat, F. Monestier, co-directeurs : L. Escoubas (HDR - 30%), J.J. Simon, P.Torchio (2004 - 2007)

"Réseau bi-périodiques de structures sub-longueur d'onde : Application au contrôle de la réflectivité large bande – large incidence", thèse de Doctorat, R. Bouffaron, financement DGA / collaboration Thalès Optronique, co-directeurs : L. Escoubas (HDR - 30%), J.J. Simon, P.Torchio (2005 - 2008)

X.6. Contrats

- Contrat Fond Européen de Développement Economique Régional – FEDER pour plate-forme de micro et nano – technologie (444679 €), "Etude et réalisation de micro-composants optiques : Des télécoms optiques aux tests biologiques ultra-sensibles", co-responsables : L. Escoubas, F. Flory (2002-2004)
- Contrat Fond Social Européen – FSE (269500 €), "Mise en œuvre de moyens technologiques pour l'étude et la réalisation de micro-composants optiques", co-responsables : L. Escoubas, F. Flory (2002-2004)
- Contrat Européen RTD 5^{ème} PCRD IST (157000 €), "Nanostructured Photonic Sensor – Nanophos", responsable Institut Fresnel : L. Escoubas (Janvier 2003 – Décembre 2005)
- Contrat DGA (Recherches Exploratoires et Innovations – REI) – Thalès Optronique et Systèmes Aéroportés (50000 €), « Réseaux bi-périodiques de microstructures sub-longueur d'onde : Application au contrôle de la réflectivité large bande-large incidence », responsable : L. Escoubas (2005-2006)
- Contrat Région PACA (132000 €), « Micro-systèmes pour la détection optique d'espèces chimiques », responsable : L. Escoubas (2004)

X.7. Production scientifique

X.7.1. Chapitres de livres

1. "Optical Thin Films for Micro-components", L. Escoubas, F. Flory, in Springer Series in Optical Sciences – Optical Interference Coatings, N. Kaiser and J. Pulker eds, Springer – Verlag, avril 2003.
2. "Film thickness measurement", F. Flory, L. Escoubas, in Encyclopedia of Optical Engineering, R. Driggers ed., Marcel Dekker Inc. (2004).

X.7.2. Publications dans des revues avec comité de lecture

1. P. Huguet - Chantôme, L. Escoubas, F. Flory, "Guided - wave technique for the measurement of dielectric thin - film materials' thermal properties", Applied Optics, **41** (16), 3127-3131, 2002.
2. E. Drouard, P. Huguet-Chantôme, L. Escoubas, F. Flory, " $\partial n/\partial T$ measurements performed using guided waves and their application to the temperature sensitivity of WDM filters", Applied Optics, **41** (16), 3132-3136, 2002.
3. François Flory, Ludovic Escoubas, Basile Lazaridès, "Artificial anisotropy and polarizing filters", Applied Optics, **41** (16), 3332-3335, 2002.
4. Ludovic Escoubas, Emmanuel Drouard, François Flory, "Theoretical study of amplitude and phase filtering of guided waves", Applied Optics, **41** (16), 3084-3091, 2002.

5. L. Escoubas, P Huguet – Chantôme, M. Jelínek, F. Flory, E. Drouard, J. Lančok, J.-J. Simon, T. Mazingue, "Optical and electro-optical properties of pulse laser deposited PLZT thin films", *Optical Engineering*, **42** (12), 3579 – 3584, 2003
6. L. Escoubas, J.J. Simon, M. Loli, G. Berginc, F. Flory, H. Giovannini, "An antireflective silicon grating working in the resonance domain for the near infrared spectral region", *Optics Communications*, **226**, p 81 – 88, 2003
7. Z. Elalamy, E. Drouard, T. Mc. Govern, L. Escoubas, J. J. Simon, F. Flory, "Thermo-optical coefficients of sol-gel ZrO₂ thin films", *Optics Communications*, **235**, p 365 – 372, 2004
8. F. Flory, L. Escoubas, "Optical properties of nano - structured thin films", *Progress in Quantum Electronics*, **28**, 89 – 112 (2004)
9. C. Hubert, C. Fiorini-Debuisschert, P. Raymond, J. M. Nunzi, J. J. Simon and L. Escoubas, "Spontaneous photo-induced structuration of the surface of Azo-Benzene polymer films by the molecular migration effect", *J. of Non-linear Optics and Quantum Optics*, **31**, n° 1/4, 221-230 (2004).
10. E. Drouard, L. Escoubas, F. Flory, S. Tisserand, L. Roux, "Ion Implanted Integrated Optics (I³O®) technology for Planar Lightwave Circuits fabrication", *Journal of Lightwave Technology*, **22** (10), 2310 – 2315, 2004.
11. T. Mazingue, L. Escoubas, L. Spalluto, F. Flory, G. Socol, C. Ristoscu, E. Axente, S. Grigorescu, I. N. Mihailescu, N. Vainos, « Nanostructured ZnO coatings grown by pulsed laser deposition for optical gas sensing of butane », *Journal of Applied Physics*, **98**, 074312 (2005).
12. S. Enoch, J.-J. Simon, L. Escoubas, Z. Elalamy, F. Lemarquis, P. Torchio, G. Albrand, "Simple layer-by-layer photonic crystal for the control of thermal emission", *Applied Physics Letters*, **87** (1), 6951 (2005).
13. T. Mazingue, L. Escoubas, L. Spalluto, F. Flory, P. Jacquouton, A. Perrone, E. Kaminska, A. Piotrowska, I. Mihailescu, P. Atanasov, « Optical characterizations of ZnO, SnO₂ and TiO₂ thin films for butane detection », *Applied Optics*, **45** (7), 1425 – 1435 (2006).
14. L. Escoubas, F. Flory, J.J. Simon, P. Torchio, « Optical and electro-optical properties of thin film materials by guided wave characterization », **Article invite**, *Int. J. Materials and Product Technology*, Special Issue « Challenges on Materials Properties Measurements », Editor B. Vinet (Inderscience), Vol. **26**, Nos. 3/4, 372 – 387, 2006
15. M. Jelínek, T. Kocourek, F. Flory, L. Escoubas, T. Mazingue, V. Myslík, M. Vrata, R. Fryček, and F. Vyslou, "Laser-deposited thin films for butane detection", *Laser Physics*, **16** (2), 217 – 222 (2006).
16. F. Monestier, Ph. Torchio, J-J. Simon, L. Escoubas, M. Cathelinaud, "Demonstration of a Software for Automatic Optimization of the Electromagnetic Field in Organic Solar Cells", accepté pour publication dans *J of Non Linear Optics and Quantum Optics* (2006).

X.8. Brevets

1. "Adaptateur de mode pourvu de deux canaux distincts", FR 2836724 (01/03/2002), S. Tisserand, L. Roux, F. Reversat, S. Jacob, E. Drouard, L. Escoubas
2. "Dispositif de mesure des propriétés optiques de l'œil" (société Luneau) FR 64002 N déposé en mars 2002, P.F. Lenne, L. Escoubas, H. Rigneault, H. Giovannini, W. Lenne
3. "Filtre en longueur d'onde comportant plusieurs cellules composées du même matériau" (société Silios Technologies) F01096 déposé en juillet 2003, L. Escoubas, E. Drouard, F. Flory, L. Roux, S. Tisserand, F. Reversat
4. "Procédé de détection et détecteur optique de gaz », Ludovic Escoubas, Thomas Mazingue, François Flory, Christian Forestier, (société Cybernétix) N° de dépôt 04 06373, FR 2871571.

5. "Détecteur et procédé de détection optique et électrique d'au moins un gaz déterminé dans une atmosphère ambiante », Ludovic Escoubas, Khalifa Aguir, Thomas Mazingue, François Flory, Marc Bendahan, Christian Forestier, (société Cybernétix) N° de dépôt 04 06379, FR 2871573.

X.9. Conférences invitées (exclusivement)

1. F. Flory, L. Escoubas, E. Drouard, J.-J. Simon, "From optical interference coatings to optical micro/nano components", **Invited Conference** Pres. at ROMOPTO 2003, September 2003, Roumania.
2. L. Escoubas, J.-J. Simon, M. Loli, G. Berginc, F. Flory, F. Lemarquis, S. Enoch, H. Giovannini, "Near infrared antireflective silicon grating working in the resonance domain", **Invited Conference** "Design and Technology of Optical Coatings", September 24-26, 2003, Bonassola, Italie
3. F. Flory, L. Escoubas, J.-J. Simon, P. Torchio, "Reflection on the Future of Photonics", Fifth International Conference on "Thin film Physics and Applications", **Invited Conference**, Shanghai, May (2004)
4. F. Flory, L. Escoubas, J.-J. Simon, P. Torchio, "Optical properties of nanostructured thin films", **Invited Conference**, 6th International Conference on Coating on Glass, Dresde, June 2006
5. F. Flory, L. Escoubas, J.-J. Simon, P. Torchio, "Refractive index of Micro/nano structured dielectric materials", **Invited Conference**, ROMOPTO'2006, August 2006, Romania
6. F. Flory, L. Escoubas, J.-J. Simon, P. Torchio, "micro/nanostructured optical thin films: potential and applications", **Invited Conference**, Optical Interference Coatings June 2007, Tucson, USA

XI - COLLABORATIONS INTERNES (UMR 6133)

Suite à ces rapports scientifiques, il peut être utile de consigner brièvement ici, *de façon plus lisible et mesurable*, les collaborations internes entre les différentes équipes de l'UMR. Celles-ci se sont largement accrues au cours du deuxième quadriennal, et devraient encore s'amplifier avec la mise en place du site unique prévu pour Juin 2007.

XI.1. CLARTE/COM

Conception et réalisation d'un cristal photonique pour l'IR

S. Enoch, J.J. Simon, L. Escoubas, Z. Elalamy, F. Lemarquis, P. Torchio, and G. Albrand. "Simple layer-by-layer photonic crystal for the control of thermal emission", Appl. Phys. Lett. 86, 261101 (2005).

XI.2. CLARTE/SEMO

Conception et caractérisation d'antennes micro-ondes

- N. Guérin, S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, P. Vincent, H. Legay, "A metallic Fabry-Perot directive antenna", IEEE Trans. Ant. Prop. 54, 220-224 (2006).
- S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, N. Guérin and P. Vincent, "A metamaterial for directive emission", Phys. Rev. Lett. 89, 213902 (2002)

Etude de la diffusion par des suies

- Pierre Sabouroux, Jean-Michel Geffrin, Brian Stout

Financement : ANR "SOOT" (2006-2009).

Publication : "Amplitude and phase scattered by micro scale aggregates of dielectric spheres : Comparison between theory and microwave analogy experiments", Acceptée - A paraître dans Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.

XI.3. CLARTE/MOSAIC

Nanophotonique dans des trous nanométriques percés dans des films métalliques (ANR Coexus 2005)

Publications:

- J. Wenger, J. Dintinger, N. Bonod, E. Popov, P.-F. Lenne, T. W. Ebbesen, H. Rigneault, 'Raman scattering and fluorescence emission in a single nanoaperture: Optimizing the local intensity enhancement', Optics Communications 267 (1), pp 224-228 (2006)
- N. Bonod, E. Popov, M. Nevrière, H. Rigneault, P.-F. Lenne, P. Chaumet, "Surface plasmon excitation on a single subwavelength hole in a metallic sheet," Appl. Opt. 44, 2332-2337 (2005)
- J. Wenger, P.-F. Lenne, E. Popov, J. Capoulade, H. Rigneault, J. Dintinger, T. W. Ebbesen, N. Bonod, "Nanopuits métalliques pour exalter les contrastes en microscopie optique", Photoniques 23, 44-45 (mai-juin 2006)
- E. Popov, M. Nevrière, A. Sentennac, N. Bonod, A.-L. Ferrenbach, J. Wenger, P.-F. Lenne, H. Rigneault, "Single-scattering theory of light diffraction by a circular subwavelength aperture in a finitely conducting screen," J. Opt. Soc. Am. A, décembre 2006
- E. Popov, M. Nevrière, J. Wenger, P. -F. Lenne, H. Rigneault, P. Chaumet, N. Bonod, J. Dintinger, and T. Ebbesen, "Field enhancement in single subwavelength apertures," J. Opt. Soc. Am. A 23, 2342-2348 (2006)
- J. Wenger, P.-F. Lenne, E. Popov, J. Dintinger, T. W. Ebbesen, H. Rigneault, 'Single molecule fluorescence in rectangular nano-apertures', Optics Express 13 (18), 7035-7044 (2005)
- H. Rigneault, J. Capoulade, J. Dintinger, J. Wenger, N. Bonod, E. Popov, T. W. Ebbesen, P.-F. Lenne, 'Enhancement of single molecule fluorescence detection in subwavelength apertures', Phys. Rev. Lett. 95 (11), 117401-117404 (2005)
- E. Popov, N. Bonod, M. Nevrière, H. Rigneault, P.-F. Lenne, P. Chaumet, 'Surface plasmon excitation on a single subwavelength hole in a metallic sheet', Applied Optics 44, 2332-2337 (2005)

Brevet:

Dispositif pour la détection exaltée de l'émission d'une particule cible

Brevet CNRS (2006) - en cours de dépôt

Inventeurs: H. Rigneault, P.-F. Lenne, J. Wenger, E. Popov, T. Ebbesen

Acteurs : J. Wenger, P.-F. Lenne, H. Rigneault / E. Popov, N. Bonod, M. Nevère, A.-L. Fehrembach

XI.4. CLARTE/RCMO

Conception, réalisation et caractérisation de couches minces métalliques pour des « superlentilles »

Thèse en co-tutelle avec l'Université de Zhejiang (séjour du doctorant Jinlong ZHANG, à l'Institut Fresnel de fin novembre 2006 à fin novembre 2007)- Lequime/Enoch

Réseaux résonnants (ANR FOREAC)

RCMO (Lemarchand) est en charge de la caractérisation des réseaux résonnants développés par le LPN et le LAAS à partir des modélisations effectuées par CLARTE (Sentenac, Fehrembach)- communication sur ce sujet à la Conférence EOS

XI.5. MOSAIC/RCMO

Développement de filtres dichroïques adaptés aux besoins de la microscopie CARS (Gachet, Lemarchand, Cathelinaud)

XI.6. SEMO/MOSAIC

Thèse de Nicolas SANDEAU "4P-microscopie : Applications à la localisation axiale de luminophores et à l'amélioration de la résolution latérale", Encadrants H. Giovannini, Rigneault.

- N. Sandeau, H. Giovannini, P.-F. Lenne, and H. Rigneault, 'Observation of the interferences between the emitted beams in a 4Pi microscope by partial coherence interferometry', Appl. Phys. Lett. 87, 181103-4 (2005)

- Microscope Confocal interférométrique, Brevet CNRS n° FR 49925 (2006)

Inventeurs : N. Sandeau(MOSAIC), H. Giovannini(SEMO), H. Rigneault(MOSAIC)

XI.7. PHYTI/MOSAIC

Tracking de particules fluorescentes par traitement d'images

Thèse demandée en 2007 (Bertaux- PHYTI / Marguet - MOSAIC)

XI.8. PHYTI/SEMO

Notion de résolution en imagerie optique

Anne Sentenac, Charles-Antoine Guérin, Patrick Chaumet, Hugues Giovannini, Nicolas Bertaux, Publication acceptée, à paraître dans Optics Express : Influence of multiple scattering on the resolution of an imaging system : a Cramér-Rao analysis

XI.9. RCMO/MAP2

Tenue au flux des composants optiques fabriqués par différentes technologies et matériaux

- Laser damage resistance of silica thin films deposited by electron beam deposition, ion assisted deposition, reactive low voltage ion plating and dual ion beam sputtering, L. Gallais, H. Krol, J.Y. Natoli, M. Commandre, M. Cathelinaud, L. Roussel, M. Lequime, C. Amra, *accepted for publication* in Thin Solid Films (2006)

- "Comparative study of IR and UV laser damage resistance of silica thin films deposited by electron beam deposition, ion plating, ion assisted deposition and dual ion beam sputtering", Gallais L., Krol H., Capoulade J., Cathelinaud M., Roussel L., Albrand G., Natoli J.-Y., Commandre M., Lequime M., Amra C., Advances in Optical Thin Films II 287-293 Jena SPIE (2005)

Poudres optiques par microsphères multicouches

Mise à disposition d'un bâti par RCMO, avec assistance par ses personnels ITA (Koc, Roussel), pour le refittage de l'enceinte par MAP2 (C. Deumié) et la réalisation de poudres optiques par la technologie DIBS (thèses P. Voarino et M. Zerrad).

Rupture instrumentale pour la métrologie des indicatrices de diffusion

Thèse de M. Zerrad en co-direction (Lequime, Deumié, Amra)

Femto-second laser trimming of optical interference coatings

Projet labellisé et financé (ANR, CG13 et Région)- Acteurs Fresnel impliqués : MAP2 (Commandré, Natoli, Wagner, Gallais), RCMO (Lemarchand, Lequime) et CLARTE (Sentenac)

XI.10. MAP2/CLARTE**Optique diffractive pour imageurs C-MOS**

Thèse CIFRE ST Micro de G. Demesy, initiée en Avril 2006- Commandré/Zolla/Nicolet

XI.11. GSM/MAP2**Traitement du signal multidimensionnel pour l'étude des interactions entre les masques traités par algorithmes RET, les conditions de photolithographie et la réponse des géométries sur plaquette**

Thèse CIFRE en cours (Romuald Sabatier), initiée en décembre 2006, directeurs de thèse : S. Bourennane (GSM) et C. Fossati (MAP2)

XI.12. PHYTI/MAP2**Imagerie en milieu diffusant**

Accueil d'un stagiaire de l'option Image du Master OTI pour une thèse Optique (G. Georges/MAP2) devant impliquer une collaboration avec PHYTI (P. Réfrégier). Données expérimentales (pour traitement PHYTI) attendues pour Janvier 06. *Acteurs : Deumié/Réfrégier/Amra*

RAPPORT ADMINISTRATIF

La production scientifique est le résultat d'un long processus rarement souligné, mais qui requiert un investissement lourd et quotidien de nombre de seniors dans l'intérêt général du laboratoire : politique de postes auprès des établissements et organismes, stratégie en harmonie avec l'Ecole Doctorale et autres organismes donneurs de bourses, accompagnement des pôles de compétitivité, adhésion à la politique des collectivités et institutionnels régionaux, adossement aux PME et grands groupes, actions pour l'attractivité exogène et l'emploi des doctorants, gestion des ressources humaines et financières, animation scientifique et commissions internes, sécurité et gouvernance, interactivité avec les services généraux (valorisation, incubateurs, partenariat, comptabilité, informatique, patrimoine)... Cet effort collectif est une condition nécessaire à la mise en œuvre d'une politique scientifique, et requiert de résoudre nombre d'équations complexes récurrentes qui sont le quotidien des laboratoires. C'est pourquoi nous avons jugé utile d'y accorder une importance particulière dans ce rapport, autant pour les aspects quantitatifs que qualitatifs.

XII - BUDGET GENERAL DE L'INSTITUT (03-06)

Le budget des équipes a été partiellement donné dans les parties précédentes; il sera complété après ce paragraphe qui est dévolu à la globalité de l'UMR, et pour une meilleure lisibilité. D'une façon générale, on peut souligner les difficultés auxquelles doit faire face l'administration/gestion de l'UMR, compte tenu des *évolutions fréquentes* des différents établissements/organismes (changements de présidence ou de direction, d'UFR, de statuts, réformes...), et du contexte inter-établissement ou inter-universitaire (requête d'exclusivité de la gestion financière de l'UMR, requête de rattachement principal et de propriété intellectuelle, voire d'hébergement...). Chacune de ces évolutions s'accompagne de réformes modifiant le montant des taxes, des logiciels de gestion et autres procédures (dont LOLF)..., dont la mise en œuvre est longue à finaliser et ne nous permet pas de déléguer aux établissements (hors CNRS) le suivi semestriel de notre gestion financière (non comptable). Si la charge de travail qui en découle pour l'UMR s'en trouve accrue, elle nous permet cependant le *suivi temps réel* de la santé financière du laboratoire. On peut préciser également que les diverses et fréquentes requêtes d'information des établissements/organismes requièrent des formats spécifiques, ce qui nous a conduit à élaborer nos propres bases de données déclaratives (disponibles sur l'intranet Fresnel).

XII.1. Origine des Ressources Globales

UMR 03-06	€ (TTC)
ANR	424 905,00
BQR et Ressources Supplémentaires provenant des Etablissements	440 830,42
Ressources Propres	1 248 680,00
Collectivités Territoriales	4 494 748,00
Communauté Européenne	1 163 935,49
FNS	135 000,00
FRT	250 175,00
ANR	778,00
Récurrent	837 892,00
Vacations	24 610,00
TOTAL	9 021 553,91

Ressources de l'UMR : origines

**ce budget n'inclut pas les ANR récemment obtenues, d'un montant de 877k€*

On notera tout d'abord le *soutien avéré des collectivités* territoriales PACA, qui ont investi près de 5M€ dans l'UMR. Cette politique constitue un atout notable pour la recherche en Région, partenariale ou fondamentale. Par ailleurs, le montant des fonds propres rappelle l'implication étroite de l'UMR dans le tissu économique national et régional. Les fonds européens sont également notables, et sont en partie liés à la « fédérisation » du campus Nord (programmes FEDER/FSE).

Masse salariale de l'UMR (pour évaluation du budget consolidé): Suite à la création de l'EGIM, la masse salariale *brute* de l'Institut a été évaluée en 2003 à la demande de la Chambre Régionale des Comptes. Le résultat, qui tient compte des taux horaires et grades de chaque personnel, est de **2 007 597 € HT** pour l'année 2003, répartis comme suit :

- CNRS : 781 445 k€ HT (100%)
- UPCAM et Provence : 598 900 k€ HT (50%)
- EGIM: 627 252 k€ HT (50%)

Le budget précédent normalisé à cette masse salariale sur la même période est d'environ **130%**, ce qui nous amène à *candidater sur un label Carnot* fin 2006, via le GIS Photonique (Institut PHOTIS).

Liste des ANR (pour information)

- SOOT : 38,5 k€ (SEMO)
- CESAR (ANR Jeune Chercheur) : 133k€ (SEMO)
- Imagerie ACI Jeune Chercheur) : 45keue
- FOREAC (ANR Pnano) : CLARTE/SEMO : 37keur
- POEM : 82,1k€ (CLARTE)
- MAGNETOPHOT : 94,6k€ (CLARTE)
- FESTIC (Programme Blanc): 219,1k€ (RCMO/MAP2)
- NANOREF (Programme Blanc) : 50k€ (MAP2)
- MnemoSig (Programme Blanc): 80k€ (MOSAIC)
- COEXUS (ProgrammeNnano) : 100k€ (MOSAIC)
- DrosoActinCut (Programme Nano) : 80k€ (MOSAIC)

XII.2. Crédits Récurrents : CNRS et MENRT

XII.2.1. Crédits récurrents : CNRS et MENRT

Dans le tableau ci-dessous on trouvera les crédits récurrents dont a bénéficié l'UMR, à la fois pour le fonctionnement et l'équipement. Ces valeurs sont données après prélèvement du BQR (12%) par les établissements de rattachement UIII et UI. On notera que les crédits CNRS ont évolué de 45k€ (année spécifique) à 102k€, 114k€ puis 127k€. Par ailleurs, les crédits MENRT sont passés de 77k€ à 146k€, 114k€ puis 114k€. La baisse de crédits MENRT après 2004 est liée à l'absence (*annulation?*) de crédits d'équipements.

CODE RAPPORT CNRS	Crédits récurrents
-------------------	--------------------

Somme de Montant TTC					
EQUIPES	Année	N° compte	Organisme Payeur	Gestion	Total
FRESNEL	2003	0MA 153	CNRS	CNRS	44 903,82 €
		350 R1	MNRT	UIII	63 000,00 €
		577 R1	MNRT - UIII	UIII	13 703,45 €
	Total 2003				121 607,27 €
	2004	32552	MNRT - UI	UI	22 151,85 €
		0MA 153	CNRS	CNRS	101 660,00 €
		350 R1	MNRT	UIII	91 733,84 €
		577 R1	MNRT - UIII	UIII	15 225,85 €
			MNRT- UIII	UIII	16 748,43 €
	Total 2004				247 519,97 €
	2005	32552	MNRT - UI	UI	22 151,85 €
		0MA 153	CNRS	CNRS	114 218,00 €
		350 R1	MNRT	UIII	91 733,84 €
	Total 2005				228 103,69 €
	2006	32552	MNRT - UI	UI	22 151,85 €
		0MA 153	CNRS	CNRS	126 776,00 €
		350 R1	MNRT	UIII	91 733,84 €
	Total 2006				240 661,69 €
Total FRESNEL					837 892,62 €
Total					837 892,62 €

Dotations récurrentes CNRS et MNRT

XII.2.2. Fléchage des crédits récurrents sur les équipes

Comme annoncé dans le règlement interne de l'unité, ces crédits sont fléchés sur les équipes au prorata des effectifs, après prélèvement par la direction de 6% (quadriennal 00-04- crédits CNRS) puis de 13% (quadriennal 04-08- crédits CNRS et MENRT). Quelques prélèvements en amont sont également effectués pour les services d'intérêt général (commissions internes et services...).

**voir page suivante*

Année 2003	CNRS	U3		U1
	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
Direction	4 875,75 €	8 190,00 €	1 781,45 €	Pas de crédit en 2003
CLARTE	7 055,41 €	11 837,99 €	2 574,94 €	
TEM	6 860,14 €	11 510,36 €	2 503,68 €	
RCMO	5 373,41 €	9 014,29 €	1 960,74 €	
COM	4 474,14 €	7 505,44 €	1 632,55 €	
MAP2	4 345,67 €	7 289,89 €	1 585,66 €	
PhyTI	2 280,75 €	3 826,01 €	832,21 €	
GSM	2 280,75 €	3 826,01 €	832,21 €	
TOTAL	37 546,02 €	63 000,00 €	13 703,45 €	0,00 €

Année 2004	CNRS	U3		U1
	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
Direction	11 050,00 €	10 433,51 €	4 156,66 €	2 879,74 €
CLARTE	13 580,72 €	15 199,84 €	5 604,72 €	4 195,29 €
SEMO	15 115,93 €	11 658,96 €	5 140,81 €	3 217,98 €
RCMO	11 065,33 €	9 964,10 €	4 061,51 €	2 750,18 €
COM	12 647,79 €	11 421,47 €	4 649,11 €	3 152,43 €
MAP2	11 053,53 €	12 123,16 €	4 509,96 €	3 346,10 €
PhyTI	5 243,35 €	4 728,36 €	1 925,98 €	1 305,07 €
GSM	5 243,35 €	4 728,36 €	1 925,45 €	1 305,07 €
TOTAL	85 000,00 €	80 257,76 €	31 974,20 €	22 151,86 €

Année 2005	CNRS	U3		U1
	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
Direction	12 415,00 €	11 925,00 €	Pas de crédit en 2005	2 879,74 €
CLARTE	17 750,45 €	17 050,44 €		4 117,33 €
SEMO	14 910,38 €	14 322,37 €		3 458,56 €
RCMO	10 327,53 €	9 920,25 €		2 395,54 €
MOSAIC	4 518,30 €	4 340,11 €		1 048,05 €
COM 2	5 809,24 €	5 580,14 €		1 347,49 €
COM1	2 581,88 €	2 480,06 €		598,88 €
MAP2	14 587,64 €	14 012,36 €		3 383,70 €
PhyTI	5 654,32 €	5 431,34 €		1 311,56 €
GSM	6 945,27 €	6 671,37 €		1 610,99 €
TOTAL	95 500,00 €	91 733,44 €	0,00 €	22 151,84 €

Année 2006	CNRS	U3		U1
	Fonctionnement HT	Fonctionnement TTC	Equipement TTC	Fonctionnement TTC
Direction	13 390,00 €	11 015,40 €	Pas de crédit en 2006	2 879,74 €
CLARTE	22 732,49 €	18 701,08 €		4 889,00 €
SEMO	16 572,72 €	13 633,69 €		3 564,24 €
RCMO	8 799,67 €	7 239,13 €		1 892,51 €
MOSAIC	7 333,06 €	6 032,61 €		1 577,10 €
MAP2	12 172,88 €	10 014,13 €		2 617,98 €
PhyTI	7 333,06 €	6 032,61 €		1 577,10 €
GSM	8 799,67 €	7 239,13 €		1 892,51 €
Fonds réservés	5 866,45 €	4 826,08 €		1 261,68 €
TOTAL	103 000,00 €	84 733,84 €		22 151,85 €

XII.3. Budget Hors-Equipes d'Intérêt Collectif

Une donnée n'est pas apparue dans les rapports par équipes, et concerne les budgets fléchés sur les tâches d'intérêt général pour le laboratoire.

XII.3.1. Taxe Interne 3% : origine

On trouvera ci-dessous le montant des crédits taxés (3%) en interne à l'UMR, comme annoncé dans le règlement intérieur. Ce prélèvement a été mis en œuvre en 2005, pour faire face aux tâches d'intérêt collectif (forte croissance de l'Institut et site unique...) que ne pouvaient pas assumer les crédits de direction (prélèvement sur les crédits récurrents : 6% puis 13%). Le montant de ces prélèvements est relativement modeste, compte tenu de la difficulté ou de l'impossibilité de prélever une taxe sur de nombreuses lignes budgétaires (justifications pour subventions de type collectivités, Europe, FEDER, salaires...- remboursement sur factures acquittées) qui représentent cependant une partie majeure du budget du laboratoire. Cette *situation est paradoxale* dans la mesure où ce sont ces lignes non taxées (et non évaluées à posteriori) qui monopolisent les services gestion du laboratoire et des établissements, à l'inverse des lignes taxées (contrats de recherche) qui doivent de plus faire face à une garantie de résultat (évaluation à posteriori). Une concertation avec les collectivités territoriales serait bienvenue sur ce dossier. On précisera que certaines procédures permettent malgré tout de *s'équiper au niveau informatique*. Pour conclure, l'origine et le fléchage de cette taxe de 3% est disponible sur l'intranet Fresnel.

	UIII	UI	EGIM	CNRS
Montant (€)	21171	0	0	10382

Montant des taxes internes d'intérêt général

Ce budget a été majoritairement fléché sur la mise en place du réseau informatique du laboratoire, dans le contexte de nouveau site unique.

XII.3.2. Crédits de Direction Hors-Equipe

Par ailleurs, depuis 2005 la direction prélève 13% des crédits récurrents, pour des besoins spécifiques à une activité de direction. L'utilisation de ces crédits est accessible sur l'intranet Fresnel.

		Lignes budgétaires				
		CNRS - 1MA HT	CNRS - 0MA HT		350 UB 920 TTC	32552 TTC
Désignation	Base du prélèv.	DIR 1MA	DIR 0MS	DIR 0MA	350 UB 920	U1
ATI		1 898,27 €				
solde année 2004 - 0MS ex OBG			2 663,79 €			
solde année 2004 CNRS Direction				6 311,57 €		
solde année 2004 UPCAM Direction					10 569,19 €	
solde année 2004 U1 Direction						2 603,76 €
prélèvement U1 sur reliquat 2005						-6,29 €
13% direction, crédits CNRS 2005	95 500,00 €			12 415,00 €		
13% direction, crédits UPCAM 2005	91 733,84 €				11 925,00 €	
13% direction, crédits U1 2005	22 151,85 €					2 879,74 €
13% direction, crédits CNRS 2006	103 000,00 €			13 390,00 €		
13% direction, crédits UPCAM 2006	91 733,84 €				11 015,40 €	
13% direction, crédits U1 2006	22 151,85 €					2 879,74 €
Participation 2006 de U2 au CNU (versé)	1 000,00 €				1 000,00 €	
Participation 2006 de U1 au CNU (versé)	1 000,00 €				1 000,00 €	
Participation 2006 de U3 au CNU (en attente)	1 000,00 €				1 000,00 €	
TOTAL		1 898,27 €	2 663,79 €	32 116,57 €	36 509,59 €	8 356,95 €

Crédits de direction : origine

XII.4. Dépenses récurrentes en fonctionnement général sur le site A

Depuis sa création, l'UMR est hébergée sur 2 sites voisins mais distincts (site A : bâtiment ex-EGIM Nord, site B : services 161 et 162). Cette situation ne permet pas encore d'optimiser l'ensemble des moyens logistiques et financiers, en particulier pour les frais de fonctionnement quotidien et récurrents. Les équipes du site B gèrent ces frais de fonctionnement à partir d'un « pot commun » prévisionnel constitué à partir des ressources récurrentes. Il en est de même des équipes du site A, dont les frais de fonctionnement sont plus conséquents (RCMO/MOSAIC/MAP2) et qui ont donc conservé le mode de fonctionnement antérieur à la création de l'UMR (mise en commun de la totalité des crédits MENRT). Ces frais de fonctionnement sur ce dernier site sont listés dans le tableau qui suit ; ils sont rappelés pour éviter tout dépassement de trésorerie sur la ligne correspondante. Précisons que ces frais n'incluent évidemment pas les dépenses afférant aux établissements (fluides, travaux extérieurs...) qui sont prises en charge par les crédits d'infrastructure recherche et la dotation globale financière.

Code Budgetaire	Désignation	Total TTC
Abonnement	Journal Le Monde	349,00 €
Abonnement	Cotisation SFO/ESO	755,00 €
Affranchissement	du 1er oct 2004 au 30 sept. 2005	1 236,81 €
Aménagement	Frigo/Cogelateur /Chariot Salle P. Coton	676,72 €
Bibliothèque	Biblio de Sept2003 à Sept 2005 (MOSAIC/MAP2/RCMO)	225,50 €
Copies copieurs Fresnel	Copies du CP 332 + 5621 du 01/10/04 au 30/09/05	812,92 €
Expéditions DHL	De 1er Janv. 2005 au 31 Déc. 2005	2 529,97 €
Fournitures Bureau	Papetterie/Enveloppes/stylos/Agraffes/...	4 350,00 €
Informatique administration	Logiciels administration + petit matériel disque dur,	325,90 €
Location Copieur en réseau	CP 332 Année 2005	4 412,28 €
Mobilier	Chaises Administration	801,32 €
Outillages	Outillage pour la logistique du bâtiment	162,78 €
Papetterie	Carnets de Commande UIII	331,80 €
Papier	Ramettes de papier	1 405,18 €
Pots	Gateaux des Rois/Retraites/AG du 22/09/2005	2 170,66 €
Régie	Remboursement Divers	111,68 €
Reprographie	Repro + Poster de juin 2004 à déc. 2005	3 501,95 €
Téléphone	Tel du 1er janv. 2004 Au 30 sept. 2005	10 129,31 €
Produits dangereux	Produits UIII	119,60 €
Scientifique	Achats d'équipement MOSAIC	655,17 €
Services Généraux	Période du 01/07/04 au 30/09/04	56,32 €
Clés	5 jeux de 4 clés labo	219,50 €
	Total Mandaté Labo 2005	35 339,37 €

Frais de fonctionnement 2003 sur le site A

XII.5. Soldes Généraux de l'Institut

Le tableau ci-dessous indique *la bonne santé financière* de l'Institut, mais aussi la *charge considérable* que doit assurer le service gestion/administration. Précisons que la majeure partie de ce solde est fléchée sur des équipements, ce qui ne laisse pas forcément de marge de manœuvre pour une politique scientifique interne « novatrice mais à risque ». Par ailleurs, ces lignes « non libres » ne peuvent pas être utilisées pour la réhabilitation du site unique, qui demeure notre priorité. On retiendra que l'ensemble des personnels bénéficie de moyens conséquents pour assurer une activité scientifique dans des *conditions plus que convenables*.

	UIII	UI	EGIM	CNRS
Soldes (€)	2 093 998	34 937	173 945	305 872

Soldes HT de l'UMR sur les établissements et organismes (30/06/06)

**ces données ne tiennent pas compte des crédits CNRS (100k€) attribués pour la réhabilitation du site*

On peut ici souligner une difficulté qui est apparue suite aux problèmes de trésorerie de l'EGIM qui a conduit à « geler » momentanément près de 300k€ de l'UMR, réduisant ainsi notre image de marque auprès des différents fournisseurs.

Le solde de l'équipe de direction est également donné ci-dessous :

Etablissement	CNRS			UPCAM	Univ. Provence
ligne budgétaire	OMA 153 HT		1MA 153 HT	350 UB 920 TTC	32552 TTC
Intitulé compte	OMA Récurrent 13%	OMS ex OBG contrat	ATI	Récurrent 13%	Récurrent 13%
SOLDES	13 212,75 €	188,41 €	378,27 €	16 726,37 €	233,53 €

Solde direction au 12 Juin 2006

XII.6. Subventions par Chercheurs

Enfin, il est intéressant de dresser un bilan des subventions qui ont été attribuées aux différents chercheurs sur les 2 quadriennaux. Il s'agit ici de propositions d'attributions décidées en comité de direction ou directoire, ou conseil de laboratoire, dont le succès est quasi-certain (convention d'objectifs pluriannuels avec les établissements et organismes, BQR, CREMSI, FEDER, FSE...). La *mémoire de ces dossiers* est indispensable pour les discussions annuelles récurrentes que nous avons sur le fléchage des subventions sur les équipes de l'UMR.

	k€ HT		k€ HT
Nicollet/Zolla	2,9	Simon	1,2
Sentenac	142,3	Escoubas	632,3
Amra	765,9	Commandré	702,1
Deumié	203	Nevière	12,7
Maystre	90,2	Saillard	30
Maystre/Saillard	28,2	Bertaux	3,1
Goudail	8,8	Réfrégier	20,9
Renversez	15,6	Sabouroux	167,7
Tayeb	30	Lenne	213,4
Akhouayri	14,6	RCMO/DIR	30,5
Giovannini	28	mmandré/	45,7
Rigneault	627,2	Enoch	19,2
Geffrin	1,8	Huard	4,6
Guérin	13,7	Monneret	27,5
Natoli	75,3		

Subventions attribuées aux chercheurs sur les 2 quadriennaux

*La ligne Amra date d'un projet FEDER (99) initié antérieurement à l'UMR pour l'acquisition d'une technologie DIBS

Pour conclure cette partie, on signalera que le *tableau des flux financiers entrants* de l'Institut, d'où est extraite la majorité de ces données, est disponible sur l'intranet Fresnel.

XII.7. Missions

Enfin, le tableau des missions est également disponible sur l'intranet Fresnel, avec l'ensemble des données financières et géographiques. On trouvera ci-dessous le nombre de missions par équipes sur la période 05-06. Le coût global approximatif s'élève à 300k€, ce qui, ramené au nombre de missions (543), donne un coût moyen proche de 500€, avec un nombre moyen par chercheur de 8 missions. Ce poste constitue, avec la gestion/justification financière, *une des missions majeures* du service gestion de l'UMR. La

disparité du nombre de missions par équipes est liée aux « traditions de destination » (international ou national, selon le tissu scientifique ou l'existence de GDR).

période 05-06	nombre missions
CLARTE	209
MAP2	43
PHYTI	43
MOSAIC	76
SEMO	62
RCMO	10
GSM	15
OI	26
Direction	36
Invités	23

Missions par équipe sur la période 05-06

XII.8. Taxes par les établissements

Pour information, au-delà du BQR qui est de 12% pour UPCAM et UP, les contrats de recherche sont taxés à 12% par ces mêmes universités, répartis pour la FST/université (7%) et la valorisation (5%). Lors du précédent quadriennal, un accord inter-établissement/organisme avait fixé cette taxe à 15%, les 3% supplémentaires étant reversés à l'UMR. Cette procédure ayant été annulée pour le présent quadriennal, nous l'avons malgré tout reconduite en interne (ligne budgétaire unique UPCAM) pour les dépenses d'intérêt collectif. Enfin, depuis la création d'EGIM, nous n'avons pas eu d'information sur la taxe que prélèverait ce nouvel établissement ; nous avons donc considéré en interne que ce prélèvement était de 5% (montant pratiqué par ENSPM). Rappelons sur ce dernier point les difficultés de gestion que nous avons connues avec les établissements ENSPM et EGIM, le premier nous ayant demandé de transférer nos comptes sur UPCAM (la masse contractuelle de l'UMR et sa charge de gestion étant trop importantes pour l'établissement et sa trésorerie), le second ayant été contraint de geler provisoirement 300k€ de solde dû à l'Institut. Ces données sont consignées dans le rapport de la chambre régionale des comptes et les PV des CA de l'ENSPM/EGIM.

XIII - BUDGET DES EQUIPES

XIII.1. Budget CLARTE 03-06

XIII.1.1. Ressources CLARTE

Equipe CLARTE: 03-06						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS et QUADRIENNAL						
2003-2006	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
ANR	2005	4329	ANR GIP	Subvention	P. Chaumet	9 901,00 €
	Total 2005					9 901,00 €
Total ANR						9 901,00 €
BQR et ressources suppl. provenant des établissements	2003	142 R1	Univ. Paul Cezanne	International	D. Maystre	5 335,72 €
		1MS 153	CNRS	DRI CNRS	G. Renversez	8 970,00 €
	Total 2003					14 305,72 €
	2004	32541	Univ. Provence	BQR U1 2004	D. Maystre	2 300,00 €
		001 153	CNRS	Equipement Labintel	G. Tayeb	35 880,00 €
		0MA 153	CNRS DRI	Coopération CNRS/Australie 2004	G. Renversez	458,00 €
		0MS 153	CNRS DRI	Financement séjour Australie	G. Renversez	2 188,68 €
		142 R1	Univ. Paul Cezanne	BQR U111 2004	D. Maystre	3 000,00 €
		DRI aucun	CNRS DRI	Coopération CNRS/Australie 2004	G. Renversez	5 793,00 €
	Total 2004					49 619,68 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						63 925,40 €
Communauté européenne	2004	4322 R3	Commission européenne	6ème PCRD T REX	S. Enoch	95 680,00 €
	Total 2004					95 680,00 €
	2005	versé au chercheur	EGIDE	PAI	A. Nicolet/F. Zolla	3 500,00 €
	Total 2005					3 500,00 €
	2006	(vide)	EGIDE	EGIDE 1ère année	G. Renversez	2 800,00 €
				EGIDE 2ème année	A. Nicolet	3 000,00 €
	Total 2006					5 800,00 €
Total Communauté européenne						104 980,00 €
Fonds pour la recherche et la technologie	2004	500631	CNRS ACI	ACI	D. Maystre	83 780,00 €
	Total 2004					83 780,00 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						83 780,00 €
Ressources propres	2003	142 C	CHROMAPLEX	Actions commerciales	E. Popov	5 980,00 €
		4192 R3	Institut Français Pé	contrat de recherche	A. Nicolet	52 624,00 €
		4307 R3 930	ALCATEL	contrat de recherche	G. Tayeb	29 900,00 €
	Total 2003					88 504,00 €
	2004	0PF 153	CNRS	Programme "Metamatériaux"	D. Maystre	23 920,00 €
		532 C	CEA/CESTA	Actions commerciales	N. Bonod, E. Popov	10 764,00 €
	Total 2004					34 684,00 €
	2005	4327	CEA/CESTA	contrat de recherche	E. Popov/N. Bonod	
		32566	IUF	contrat de recherche	M. Nevière	15 245,00 €
		4307 UB 930	ALCATEL	contrat de recherche	G. Tayeb	23 920,00 €
		5109 UB 920	CNES	Aide à la recherche	A. Sentenac	71 760,00 €
	Total 2005					110 925,00 €
Total Ressources propres						234 113,00 €
Total						496 699,40 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où l'équipe CLARTE bénéficie respectivement, dans le cadre des ANR POEM et MAGNETOPHOT, de 82k€ et 96k€.

XIII.1.2. Soldes CLARTE

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4149 R3	ALCATEL	CLARTE	30 489,80 €	26 038,17 €
930	C204	4192 R3	Institut Français Pétrole	CLARTE	44 000,00 €	23 892,45 €
930	C204	4307 R3	ALCATEL	CLARTE	25 000,00 €	11 667,24 €
930	C204	4322 R3	EUROPE	CLARTE	80 000,00 €	47 446,97 €
920	C104	5109	CNES	CLARTE	60 000,00 €	56 144,10 €
930	C204	4327	CEA/CESTA	CLARTE	12 000,00 €	11 536,43 €
930	C204	4307	ALCATEL	CLARTE	20 000,00 €	20 000,00 €
930	C204	4329	ANR GIP	CLARTE	9 901,00 €	9 901,00 €
930	C204	4328	ANR FOREAC	CLARTE	31 060,00 €	31 060,00 €
				SOUS TOTAL CLARTE	312 450,80 €	237 686,36 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
MEN	CLARTE	740	19 230,77	10 974,61
TOTAL DES COMPTES CLARTE			19 230,77	10 974,61

EGIM Actions C - CLARTE/SEMO

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
Actions C	CLARTE/SEMO	532 C	55 370,25	53 388,15
TOTAL DES COMPTES CLARTE/SEMO 532 C			55 370,25	53 388,15

PROVENCE

- Recurrent (MENRT) CLARTE: 6264€ TTC
- Recurrent (MENRT) CLARTE/SEMO: 451€ TTC
- Nevière: 6211€

CNRS

N° COMPTE	NOM	EQUIPE	Responsable	Montant HT	Solde au 30/08/2006
1MS 153	DRI CNRS	CLARTE	G. Renversez	7 500,00 €	4 460,96 €
500631	ACI	CLARTE	D. Maystre	70 050,17 €	39 849,27
001 153	Equipement Labintel	CLARTE	G. Tayeb	30 000,00 €	0,00
0MA 153	Coopération CNRS/Australie 2004	CLARTE	G. Renversez	382,94 €	0,00
0MS 153	Financement séjour Australie	CLARTE	G. Renversez	1 830,00 €	0,00 €
0PF 153	Programme "Metamatériaux"	CLARTE	D. Maystre	20 000,00 €	10 217,40 €
DRI aucun	Coopération CNRS/Australie 2004	CLARTE	G. Renversez	4 843,65 €	0,00
				134 606,76 €	54 527,64 €

AUTRES SOLDES (€) :

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
CLARTE	1,38	17 899,35	33 295,00	21 785,00	5 193,84	

XIII.2. Budget MAP2

XIII.2.1. Ressources MAP2

Equipe MAP2: 03-06						
CODE RAPPORT CNRS	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
BQR et ressources suppl.	2003	350 R1	MNRT	Subvention FEDER Photonique d	M. Commandré	22 867,00 €
	Total 2003					22 867,00 €
	2004	350 R1	Univ. Paul Cezanne	BQR UIII 2004	M. Commandré	6 000,00 €
	Total 2004					6 000,00 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						28 867,00 €
Collectivités territoriales	2003	4911 R3	Conseil Régional FEDER	subvention FEDER Photonique d	M. Commandré	84 000,00 €
		4912 R3	Conseil Général FEDER	Subvention FEDER Photonique d	M. Commandré	105 000,00 €
		4914 R3	Conseil Régional FSE	FSE	M. Commandré	0,00 €
	Total 2003					189 000,00 €
	2004	4247 R3	Conseil Général STMicr	partenariat avec STMicr phase 2	M. Commandré	1 148 160,00 €
		5004 UB 920 425	Conseil Régional CREMSI 80	CREMSI 80	C. Deumié	12 500,00 €
		5005 UB 920 425	Conseil Régional CREMSI 80	CREMSI 80	C. Deumié	40 000,00 €
		5006 UB 920 425	Conseil Général CREMSI	CREMSI 80	C. Deumié	60 000,00 €
	Total 2004					1 260 660,00 €
	2005	4275 R3	Conseil Général STMicr	partenariat avec STMicr phase 3	M. Commandré	204 276,80 €
	Total 2005					204 276,80 €
	2006	4284 R3	Conseil Général/Conseil Régio	partenariat avec STMicr phase 4	M. Commandré	1 181 000,00 €
	Total 2006					1 181 000,00 €
Total Collectivités territoriales						2 834 936,80 €
Communauté européenne	2003	4227 R3	Commission Européenne CRA	5ème PCRD CRAFT	C. Deumié	249 485,60 €
		4910 R3	Préfecture FEDER	FEDER	M. Commandré	247 572,00 €
		4913 R3	Préfecture FSE	FSE	M. Commandré	92 049,00 €
	Total 2003					589 106,60 €
Total Communauté européenne						589 106,60 €
Fonds pour la recherche et la technologie	2004	5008 C UB 930	MNRT	ACI Jeunes chercheurs	J.Y. Natoli	90 000,00 €
	Total 2004					90 000,00 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						90 000,00 €
Ressources propres	2003	350 C 2-29	CILAS	Actions commerciales	L. Gallais	5 980,00 €
		1MA 153	CNRS / IEF	Subvention Sous-traitance IEF	H. Akhouayri	14 618,00 €
			ST/CIFRE	Cifre	M. Commandré	0,00 €
		350 C 2-30	CILAS	Actions commerciales	L. Gallais	3 588,00 €
		350 C 2-33	DASSAULT Aviation	Actions commerciales	C. Deumié	9 089,60 €
		350 C 2-42	CILAS	Actions commerciales	M. Commandré	17 940,00 €
		350 C 2-43	SESO	Actions commerciales	M. Commandré	17 940,00 €
		531 C 2-26 bis	CEA-CESTA (4)	Actions commerciales	M. Commandré	11 960,00 €
		743 R3	CEA/DAM	C.E.	M. Commandré	13 000,00 €
	Total 2003					94 115,60 €
	2004	1MA 153	MNRT / IEF	MNRT/IEF	H. Akhouayri	11 652,47 €
		350 C 2-34	CRISTAL LASER	Actions commerciales	Natoli	6 817,20 €
		350 C 2-35	CEA Le Ripault	Actions commerciales	Natoli	33 488,00 €
		350 C 2-37	CEA - CESTA -DLP	Actions commerciales	Natoli	11 960,00 €
		350 C 2-38	CEA-DAM (Bruyères)	Actions commerciales	Natoli	17 940,00 €
		350 C 2-40	CEA CESTA DLP	Actions commerciales	Natoli	1 435,20 €
		350 C 2-40 (err)	CILAS	Actions commerciales	C. Deumié	1 913,60 €
		531 C	Univ. Méditerranée	Actions commerciales	M. Commandré	300,00 €
		ADER	DGA	contrat de recherche	M. Commandré	16 770,00 €
	Total 2004					102 276,47 €
	2005	350 C 2-40	CEA CESTA DLP	Actions commerciales	Natoli	5 740,80 €
		350 C 2-44	DASSAULT Aviation	Actions commerciales	C. Deumié	50 112,40 €
		350 C 2-45	CEA/CESTA	Actions commerciales	M. Commandré	16 146,00 €
		350 C 2-46	SILIOS	Actions commerciales	M. Commandré	1 196,00 €
		350 C 2-47	CILAS	Actions commerciales	C. Deumié	4 425,20 €
		350 C 2-48	CILAS	Actions commerciales	J.Y. Natoli	538,20 €
		350 C 2-50	CNES	Actions commerciales	F. WAGNER	9 568,00 €
		350 C 2-51	CEA CESTA	Actions commerciales	J.Y. Natoli	11 960,00 €
		4265 R3 350 C	ST/CIFRE	Cifre	M. Commandré	8 372,00 €
		4270 UB 930	ST/CIFRE	Cifre	M. Commandré	25 116,00 €
	Total 2005					133 174,60 €
	2006	350 C 2-47	CILAS	Actions commerciales	C. Deumié	4 425,20 €
		350 C 2-52	THALES	Actions commerciales	M. Commandré	73 195,20 €
		350 C 2-53	CILAS	Actions commerciales	M. Commandré	1 794,00 €
		350 C 2-54	CILAS	Actions commerciales	M. Commandré	5 980,00 €
	Total 2006					85 394,40 €
Total Ressources propres						414 961,07 €
Total						3 957 871,47 €

Equipe MAP2/GSM: 03-06						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
Collectivités territoriales	2003	4231 R3	Conseil Général STMicro	partenariat avec Stmicro phase 1	M. Commandré	635 076,00 €
		4239 R3	Conseil Régional STMicro	partenariat avec Stmicro phase 1	M. Commandré	217 323,13 €
		4240 R3	Conseil Régional STMicro	partenariat avec Stmicro phase 1	M. Commandré	288 291,69 €
	Total 2003					1 140 690,81 €
Total Collectivités territoriales						1 140 690,81 €
Total						1 140 690,81 €

Equipe MAP2/RCMO part MAP2: 03-06						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
Collectivités territoriales	2005	5015 UB 920	Conseil Régional	Aide à la recherche	J.Y. Natoli	70 156,00 €
	Total 2005					70 156,00 €
Total Collectivités territoriales						70 156,00 €
Total						70 156,00 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où les équipes MAP2 et RCMO bénéficient respectivement, dans le cadre du projet FESTIC, de 81990 €HT et 111 941 €HT. L'équipe MAP2 bénéficie également d'un montant de 50k€ dans le cadre de l'ANR Nanoref.

On aura noté d'importantes subventions en collaboration avec le secteur de la micro-électronique (resp. M. Commandré/MAP2), qui résultent d'une convention entre le Conseil Général, ST Micro-Electronics et l'Institut Fresnel, ou proviennent du Ministère de l'Industrie. Ces fonds sont répartis en concertation avec les différents partenaires publics et privés, dont le Centre Commun de Rousset CCR2 (laboratoire commun ST/Fresnel/CMP/L2MP). Au-delà des actions scientifiques, ces fonds ont permis d'équiper l'Institut de façon conséquente (logiciels de modélisation, stations informatiques, microscopie en champ proche, ellipsométrie...). Enfin, ces actions à l'interface de la microélectronique et de l'optique ont desservi plusieurs équipes au sein de l'UMR, dont MAP2 (scatterométrie, imageurs C-MOS), MAP2/CLARTE (modélisation lumière/pixel), GSM (biométrie...) et MOSAIC (biochips).

XIII.2.2. Soldes MAP2

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4910 R3	Préfecture FEDER	MAP2	207 000,00 €	0,00 €
930	C204	4913 R3	Préfecture FSE	MAP2	92 049,00 €	0,00 €
930	C204	4912 R3	Conseil général FEDER	MAP2	105 000,00 €	0,00 €
930	C204	4911 R3	Conseil général FEDER	MAP2	84 000,00 €	0,00 €
930	C204	4914 R3	Conseil général FSE	MAP2	21 000,00 €	0,00 €
930	C204	4227 R3	CRAFT	MAP2	208 600,00 €	24 624,11 €
930	C204	4231 R3	STMICRO PHASE 1	MAP2	531 000,00 €	9,97 €
930	C204	4239 R3	STMICRO PHASE 1	MAP2	181 708,30 €	0,00 €
930	C204	4240 R3	PHASE 1 (288291,70 TTC) (2)	MAP2	241 046,57 €	42 261,28 €
930	C204	4247 R3	STMICRO PHASE 2	MAP2	960 000,00 €	159 385,44 €
930	C204	4275 R3	STMICRO PHASE 3	MAP2	171 000,00 €	37 564,82 €
930	C204	4284 R3	STMICRO PHASE 4	MAP2	1 281 000,00 €	1 137 146,57 €
930	C204	4265 R3	STMICRO CIFRE (COSTE)	MAP2	21 000,00 €	19 950,00 €
930	C204	4270 R3	STMICRO CIFRE (ARNAUD)	MAP2	21 000,00 €	14 592,90 €
920	C104	5004	CREMSI 80	MAP2	12 500,00 €	12 500,00 €
920	C104	5005	CREMSI 80	MAP2	40 000,00 €	7 896,32 €
920	C104	5006	CREMSI 80	MAP2	60 000,00 €	1 396,00 €
920	C104	5008	ACI	MAP2	90 000,00 €	6 407,24 €
920	C104	5015	R.PACA	MAP2	84 000,00 €	74 297,98 €
				SOUS TOTAL MAP 2	4 411 903,87 €	1 538 032,63 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
DGA	MAP2 Natoli	722	26 736,24	692,48
CONS GENE BOUCHES D	MAP2 Deumié	727	45 734,71	6,23
PACA CONS GENE	MAP2 Deumié	729	15 244,90	620,20
IRSID	MAP2 Deumié	730	15 000,00	6,18
CEA Pierrelatte Valrho	MAP2 Commandré	709	29 727,56	55,04
CEA Pierrelatte Valrho	MAP2 Commandré	721	19 818,37	3 402,88
CREMSI 52 - CG 13	MAP2 Commandré	733	83 846,96	9,63
CREMSI 52 - PACA	MAP2 Deumié	735	22 867,35	0,00
STSI	MAP2 Commandré	736	60 000,00	-715,41
MPM (Marseille)	MAP2 Deumié	737	15 244,90	0,00
CEA BRUYERE LE CHATE	MAP2 Commandré	743	13 000,00	82,83
STSI M.Industrie	MAP2 Commandré	745	188 700,00	5 363,40
TOTAL DES COMPTES MAP2			535 920,99	9 523,46

Actions C- EGIM : RCMO/MAP2/OI

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
	OI	531	10 680,51	6 593,70
	RCMO	531	68 048,35	26 089,02
	MAP2	531	19 130,75	555,75
TOTAL OI/RCMO/MAP2 - 531 C			97859,61	33 238,47

Provence récurrent (MENRT) : 2709€ TTC

CNRS

N° COMPTE	NOM	EQUIPE	Responsable	Montant HT	Solde au 30/08/2006
1MA 153	Cifre	MAP2	M. Commandré	35 000,00 €	12 666,72 €
1MA 153	Subvention MNRT/IEF	MAP2	H. Akhouayri	21 965,28 €	150,84 €
				56 965,28 €	12 817,56 €

Autres Soldes (€)

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
MAP2	120,20	4 943,48	17 205,60	5 131,04	32 175,46	81 994,96

XIII.3. Budget PHYTI

XIII.3.1. Ressources PHYTI

Equipe PHYTI: 03-06						
CODE RAPPORT CNRS et	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou	Responsable	Total
BQR et ressources supplé. provenant des établissements	2006	350 UB 920	Univ. Paul Cezanne	BQR UIII 2006	M. Allain	6 322,12 €
	Total 2006					6 322,12 €
Total BQR et ressources supplé. provenant des établissements						6 322,12 €
Communauté européenne	2003	4235 R3 8504 R3	EUCLIDE / Europe DGA	Europe	F. Goudail	40 000,00 €
	Total 2003					40 000,00 €
Total Communauté européenne						40 000,00 €
Ressources propres	2003	542 C	TRIXELL/ASI	Actions commerce	P. Réfrégier	9 116,45 €
	Total 2003					9 116,45 €
	2004	350 C D3-27	TRIXELL/ASI	Actions commerce	P. Réfrégier	9 116,45 €
		5000 C UB 930	THALES (TSA)	Cifre	P. Réfrégier	27 351,32 €
	Total 2004					36 467,77 €
	2006	4290 UB 930	Thales Communication	Cifre	P. Réfrégier	
	Total 2006					
Total Ressources propres						45 584,22 €
Total						91 906,34 €

XIII.3.2. Soldes PHYTI

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4235 R3	NORSK-AVIR	PHYTI	40 000,00 €	22 970,85 €
930	C204	5000 C	THALES CIFRE	PHYTI	22 869,00 €	13 483,64 €
930	C204	4290	THALES TCA	PHYTI	22 500,00 €	22 500,00 €
				SOUS TOTAL PHYTI	85 369,00 €	58 954,49 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
DGA ARMEES	PHYTI	715	46 483,45	29 407,23
TOTAL DES COMPTES PHYTI			46 483,45	29 407,23

Actions C- PHYTI- EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
Actions C	PHYTI	542 C	17 717,81	14 298,16
TOTAL PHYTI 542 C			17 717,81	14 298,16

Provence récurrent (MENRT) : 1574€ TTC

CNRS : néant (hors récurrent)

Autres soldes (€)

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
PHYTI	-422,85	2 758,91	10 252,81	10 006,67	13 088,28	9 708,39

XIII.4. Budget MOSAIC

XIII.4.1. Ressources MOSAIC

Equipe MOSAIC: 03-06						
EQUIPES	MOSAIC					
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS et QU	Année	N° compte	Organisme	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
ANR	2005	5A0026	ANR GIP	ANR	H. Rigneault	59 417,28 €
		5A0031	ANR GIP	ANR	P.F. Lenne	60 278,40 €
	Total 2005					119 695,68 €
	2006	5A0026	ANR GIP	ANR	H. Rigneault	49 514,40 €
		5A0031	ANR GIP	ANR	P.F. Lenne	50 232,00 €
		5A0089	ANR GIP	Subvention CEA	H. Rigneault	121 819,78 €
	Total 2006					221 566,18 €
Total ANR						341 261,86 €
BQR et ressources suppl. proven	2003	OMS 153	CNRS	subvention CNRS RTP Ingenierie	H. Rigneault	12 403,72 €
	Total 2003					12 403,72 €
	2004	OMA 153	CNRS	DR12 + DR07	s. Monneret	14 958,18 €
		OMS 153	CNRS	RTP Ingenierie de l'info et de la s	H. Rigneault	9 568,00 €
	Total 2004					24 526,18 €
	2005	OMA 153	CNRS	Subvention CNRS	s. Monneret	17 940,00 €
	Total 2005					17 940,00 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						54 869,90 €
Collectivités territoriales	2004	5009 UB 920	Conseil Régio	6ème PCRD - Europe	P.F. Lenne	83 720,00 €
	Total 2004					83 720,00 €
	2005	502813	Conseil Régio	Subvention PACA	H. Rigneault	99 334,98 €
	Total 2005					99 334,98 €
Total Collectivités territoriales						183 054,98 €
Communauté européenne	2003	502603 5002	Préfecture FE	FEDER objectif II "Biophotonique	H. Rigneault	219 870,73 €
	Total 2003					219 870,73 €
	2004	511611	Commission	EREX	H. Rigneault	9 910,16 €
	Total 2004					9 910,16 €
Total Communauté européenne						229 780,89 €
Fonds National de la Science	2003	4228 R3	MNRT	Fonds Nantional Sciences	P.F. Lenne	135 000,00 €
	Total 2003					135 000,00 €
Total Fonds National de la Science						135 000,00 €
Fonds pour la recherche et la tec	2005	OMA 153	CNRS	ACI	H. Rigneault	15 697,50 €
	Total 2005					15 697,50 €
	2006	OMA 153	CNRS	ACI	H. Rigneault	15 697,50 €
	Total 2006					15 697,50 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						31 395,00 €
Total						975 362,62 €

XIII.4.2. Soldes MOSAIC

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4228 R3	NANO SPOT	MOSAIC	112 876,25 €	-434,25 €
920	C104	5009 C	ENDOCAR	MOSAIC	83 720,00 €	0,00 €
				SOUS TOTAL MOSAIC	196 596,25 €	-434,25 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
France Télécom	MOSAIC Rigneault	713	57 930,63	-368,11
CACHAN	MOSAIC Rigneault	720	19 119,85	0,00
TOTAL DES COMPTES MOSAIC			77 050,48	-368,11

Provence récurrent (MENRT) : 1539€ TTC

CNRS

N° COMPTE	NOM	EQUIPE	Responsable	Montant HT	Solde au 30/08/2006 TTC
502603 50022	FEDER objectif II "Biophotonique" 200	MOSAIC	H. Rigneault	183 838,40 €	0,00 €
0MS 153	subvention CNRS RTP Ingenierie de l'i	MOSAIC	H. Rigneault	18 371,00 €	0,00 €
511611	REX 2003	MOSAIC	H. Rigneault	8 286,09 €	1 216,63 €
0MA 153	DR12 + DR07 2005	MOSAIC	S. Monneret	12 506,84 €	0,00 €
502813	Subvention PACA 2005	MOSAIC	H. Rigneault	83 056,00 €	3 136,51 €
0MA 153	ACI DRAB 2005	MOSAIC	H. Rigneault	13 125,00 €	0,00 €
0MA 153	Subvention CNRS 2005	MOSAIC	S. Monneret	15 000,00 €	31,37 €
5A0026	ANR 026 2005/2006	MOSAIC	H. Rigneault	91 080,00 €	52 725,90 €
5A0031	ANR 031 2005/2006	MOSAIC	P.F. Lenne	92 400,00 €	108 820,45 €
0MA 153	ACI DRAB 2006	MOSAIC	H. Rigneault	13 125,00 €	14 832,48 €
5A0089	ANR 089 2006	MOSAIC	H. Rigneault	101 856,00 €	61 747,89 €
502852	FSE 2006	MOSAIC	P.F. Lenne	20 650,59 €	24 698,10 €
				653 294,92 €	242 511,24

Autres Soldes (€)

	Récurrent CNRS 0MA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
EQUIPES	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
MOSAIC	0,00	2 154,01			0,00	0,00

XIII.5. Budget SEMO

XIII.5.1. Ressources SEMO

Equipe SEMO						
CODE RAPPORT CNRS et QUAD	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
BQR et ressources suppl. provenant	2003	OMS 153	CNRS	dotation RTP STIC et environ	M. Saillard	11 960,00 €
		1MA 153	IRPHE / CNRS	transfert DR	P. Sabouroux	1 794,00 €
	Total 2003					13 754,00 €
	2004	32518	Univ. Provence / Fed	Subvention FEDER - BQR 20	P. Sabouroux	10 000,00 €
				Subvention FEDER BQR 2004	P. Sabouroux	5 000,00 €
		OMA 153	CNRS / Feder	Subvention FEDER Chambre	P. Sabouroux	47 840,00 €
		OMS 153	CNRS	Subvention	M. Saillard	23 920,00 €
		350 R1	Univ. Paul Cezanne/	FEDER - BQR 2003 Chambre	P. Sabouroux	15 000,00 €
	Total 2004					101 760,00 €
	2005	OMA 153	CNRS/CETHIL	Subvention CNRS	P. Sabouroux	2 392,00 €
	Total 2005					2 392,00 €
Total BQR et ressources suppl. provenant des établissements						117 906,00 €
Collectivités territoriales	2003	4196 R3	Conseil Régional	Subvention	A. Sentenac	23 786,05 €
	Total 2003					23 786,05 €
	2004	32518	Conseil Général / Fe	Subvention FEDER Chambre	P. Sabouroux	50 000,00 €
			Conseil Régional / F	Subvention locale FEDER	P. Sabouroux	50 000,00 €
			Ville Marseille	Subvention Chambre anéchoï	P. Sabouroux	15 000,00 €
	Total 2004					115 000,00 €
Total Collectivités territoriales						138 786,05 €
Communauté européenne	2003	versé au cher	EGIDE	PAI	J.M. Geffrin	1 200,00 €
	Total 2003					1 200,00 €
	2005	versé au cher	EGIDE	PAI	J.M. Geffrin	1 000,00 €
	Total 2005					1 000,00 €
	2006	(vide)	CNRS/CNR	Subvention CNRS	K. Belkébir	1 800,00 €
			EGIDE	EGIDE	K. Belkébir	4 100,00 €
	Total 2006					5 900,00 €
Total Communauté européenne						8 100,00 €
Fonds pour la recherche et la techn	2003	4183 R3	MNRT	ACI Jeunes chercheurs	A. Sentenac	45 000,00 €
	Total 2003					45 000,00 €
Total Fonds pour la recherche et la technologie						45 000,00 €
Ressources propres	2003	4198 R3	ESA / NOVELTIS	contrat de recherche	C.A. Guérin C	56 371,07 €
		4199 UB 930	ESA	contrat de recherche	M. Saillard	11 960,00 €
	Total 2003					68 331,07 €
	2004	10405	ANVAR	Aide aux jeunes	P. Sabouroux	2 000,00 €
		1MA 153	THALES	Cifre	H. Giovannini	7 500,00 €
	Total 2004					9 500,00 €
	2005	4198 UB 930	ESA	contrat de recherche	C.A. Guérin C	8 525,00 €
	Total 2005					8 525,00 €
Total Ressources propres						86 356,07 €
Total						396 148,12 €

Equipe SEMO/CLARTE						
CODE RAPPORT CNRS et QUAD	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
ANR	2005	4328 UB 930	ANR GIP	Subvention	A. Sentenac	37 147,76 €
	Total 2005					37 147,76 €
Total ANR						37 147,76 €
Collectivités territoriales	2003	4197 R3	Conseil Général	Subvention locale	A. Sentenac	34 344,34 €
	Total 2003					34 344,34 €
Total Collectivités territoriales						34 344,34 €
Communauté européenne	2006	(vide)	EGIDE	PAI	A. Nicollet/F. Zolla	3 000,00 €
	Total 2006					3 000,00 €
Total Communauté européenne						3 000,00 €
Total						74 492,10 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où cette équipe bénéficie de 133k€ (projet CESAR) et 38,5k€ (projet SOOT).

XIII.5.2. Soldes SEMO

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4119 R3	ONERA	SEMO	19 815,20 €	19 815,20 €
930	C204	4130 R3	SAINT-GOBIN	SEMO	15 000,00 €	15 000,00 €
930	C204	4201 R3	MBDA	SEMO	45 685,00 €	27 047,27 €
930	C204	4183 R3	MNRT	SEMO	37 625,42 €	15 212,59 €
930	C204	4196 R3	Conseil Régional	SEMO	19 888,00 €	11 412,18 €
930	C204	4198 R3	ESA/NOVELTIS	SEMO	54 261,00 €	32 674,33 €
930	C204	4199 R3	ESA	SEMO	10 000,00 €	8 500,00 €
930	C204	4197 R3	Conseil Général	SEMO	28 716,00 €	-1 837,60 €
				SOUS TOTAL SEMO	230 990,62 €	127 823,97 €

Actions C-CLARTE/SEMO- EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
Actions C	CLARTE/SEMO	532 C	55 370,25	53 388,15
TOTAL DES COMPTES CLARTE/SEMO 532 C			55 370,25	53 388,15

Provence :

- Récurent SEMO (MENRT): -117€ TTC (<0)
- Récurent CLARTE/SEMO (MENRT): 451€ TTC
- Sabouroux : 5367€
- PPF CNDI: 6000€

CNRS

N° COMPTE	NOM	EQUIPE	Responsable	Montant HT	Solde au 30/08/2006
OMS 153	dotation RTP STIC et environnement	SEMO	M. Saillard	10 000,00 €	0,00 €
1MA 153	transfert DR IRPHE	SEMO	P. Sabouroux	1 500,00 €	11,23 €
OMA 153	Subvention FEDER Chambre anéchoïque	SEMO	P. Sabouroux	40 000,00 €	-7,46 €
OMS 153	Subvention "projet multilaboratoire" 2004	SEMO	M. Saillard	20 000,00 €	0,00 €
1MA 153	Cifre 2004/2006	SEMO	H. Giovannini	6 270,90 €	2 967,02 €
OMA 153	Subvention CNRS CETHIL	SEMO	P. Sabouroux	2 000,00 €	-71,76 €
(vide)	Subvention CNRS	SEMO	K. Belkébir	1 505,02 €	1 800,00 €
				81 275,92 €	4 699,03 €

Autres Soldes (€)

	Récurent CNRS OMA153		Récurent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
SEMO	3,21	794,66	40 092,00	27 181,00	5 653,89	

XIII.6. Budget RCMO

XIII.6.1. Ressources RCMO

Equipe RCMO: 03-06						
CODE RAPPORT CNRS et QU	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
Ressources propres	2003	4233 R3	CNES	contrat de recherche	F. Lemarquis	102 862,46 €
		531 C 6-26	LPMC UMR 662	Actions commerciales	M. Lequime	645,84 €
		531 C 6-27	SODERN 6-27	Actions commerciales	M. Lequime	191,36 €
		531 C 6-30	SODERN	Actions commerciales	M. Lequime	9 568,00 €
		531 C 6-32	INSU/LESIA	Actions commerciales	M. Lequime	11 960,00 €
		531 C 6-35	MODULOPTIC S.A.	Actions commerciales	M. Lequime	645,84 €
		531 C 6-37	CILAS	Actions commerciales	M. Lequime	9 568,00 €
		531 C 6-39	MODULOPTIC S.A.	Actions commerciales	M. Lequime	669,76 €
		744 R3	INSU/LESIA	contrat de recherche	F. Lemarquis	28 000,00 €
		746 R3	Ss-contrat ESA-ESTEC	IAS / ESA sous-contrat gest	F. Lemarquis	24 965,00 €
	Total 2003					189 076,26 €
	2004	4262 930 35	SESO/ESA	Actions commerciales	M. Lequime	25 000,00 €
		531 C 6-30 bi	SODERN	Actions commerciales	M. Lequime	4 784,00 €
		531 C 6-30 te	SODERN	Actions commerciales	M. Lequime	3 588,00 €
		531 C 6-36	INSU/LESIA	Actions commerciales	M. Lequime	14 352,00 €
		531 C 6-40	INSU/LESIA	Actions commerciales	M. Lequime	8 970,00 €
		531 C 6-43	MODULOPTIC S.A.	Actions commerciales	M. Lequime	693,68 €
		531 C 6-44	MODULOPTIC S.A.	Actions commerciales	M. Lequime	693,68 €
	Total 2004					62 981,36 €
	2005	350 C 6-50	OBSERVATOIRE Meud	Actions commerciales	M. Lequime	3 348,00 €
		350 C 6-51	MODULOPTIC S.A.	Actions commerciales	M. Lequime	1 387,36 €
		4261 R3	CILAS	contrat de recherche	M. Lequime	10 764,00 €
		4269 UB 930	INSU/LESIA	contrat de recherche	M. Lequime	49 634,00 €
		531 C 6-37 bi	CILAS	Actions commerciales	M. Lequime	16 744,00 €
		531 C 6-53-5	LPMC UMR 662	Actions commerciales	M. Lequime	1 387,36 €
	Total 2005					83 265,52 €
	2006	350 C 6-53	LPMC UMR 662	Actions commerciales	M. Lequime	1 387,36 €
	Total 2006					1 387,36 €
Total Ressources propres						336 710,50 €
Total						336 710,50 €

Equipe MAP2/RCMO part RCMO						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS et QU	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subvention	Responsable	Total
Collectivités territoriales	2005	5015 UB 920	Conseil Régional	Aide à la recherche	J.Y. Natoli	13 844,00 €
	Total 2005					13 844,00 €
Total Collectivités territoriales						13 844,00 €
Total						13 844,00 €

*Ces résultats ne tiennent pas compte des ANR 2006, où les équipes MAP2 et RCMO bénéficient respectivement, dans le cadre du projet FESTIC, de 81990 €HT et 111 941 €HT. Par ailleurs, le prévisionnel financier (nouvelles ressources propres) de RCMO d'ici la fin de l'année 2006 est de 170 k€.

*Cette équipe n'a pas émis de demande de subvention sur le quadriennal

XIII.6.2. Soldes RCMO

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4233 R3	CNES	RCMO	86 005,40 €	2 218,13 €
930	C204	4261 R3	CILAS	RCMO	9 000,00 €	292,41 €
930	C204	4262 R3	SESO ESA (8750+6250)	RCMO	25 000,00 €	9 431,30 €
930	C204	4269 R3	INSU	RCMO	41 500,00 €	31 729,76 €
				SOUS TOTAL RCMO	161 505,40 €	43 671,60 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
CEA Contrat européen	RCMO Torchio	704	118 910,23	855,10
CNES	RCMO Lequime	706	205 806,17	-114,37
FEDER PACA	RCAM Amra	726	70 888,79	0,00
CILAS	RCMO Lequime	728	99 091,86	6 174,82
CNES	RCMO Lequime	738	12 196,00	1 045,07
INSU LESIA	RCMO Lequime	744	28 000,00	1 361,93
CEPHYTEN	RCMO Lequime	746	24 965,00	7 594,37
ESSILOR	RCMO Lequime	739	10 750,00	-366,52
TOTAL DES COMPTES RCMO			570 608,05	16 550,40

EGIM- Actions C : RCMO/MAP2/OI

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
	OI	531	10 680,51	6 593,70
	RCMO	531	68 048,35	26 089,02
	MAP2	531	19 130,75	555,75
TOTAL OI/RCMO/MAP2 - 531 C			97859,61	33 238,47

Provence récurrent (MENRT) : 2232€ TTC

CNRS : néant (hors récurrent)

Autres soldes (€) :

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
RCMO	1 582,24	1 240,21			14 674,36	11 768,34

XIII.7. Budget GSM

XIII.7.1. Ressources GSM

Equipe GSM: 03-06						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT C	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subventio	Responsable	Total
Ressources propres	2003	350 C 7-21	CNES	Actions commerciales	S. Bourennane	35 880,00 €
	Total 2003					35 880,00 €
Total Ressources propres						35 880,00 €
Total						35 880,00 €

Equipe MAP2/GSM						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT C	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou subventio	Responsable	Total
Collectivités territor	2003	4231 R3	Conseil Général STM	partenariat avec Stmicro p	M. Commandré	635 076,00 €
		4239 R3	Conseil Régional STM	partenariat avec Stmicro p	M. Commandré	217 323,13 €
		4240 R3	Conseil Régional STM	partenariat avec Stmicro p	M. Commandré	288 291,69 €
	Total 2003					1 140 690,81 €
Total Collectivités territoriales						1 140 690,81 €
Total						1 140 690,81 €

* On aura noté d'importantes subventions en collaboration avec le secteur de la micro-électronique (resp. M. Commandré/MAP2), qui résultent d'une convention entre le Conseil Général, ST Micro-Electronics et l'Institut Fresnel, ou proviennent du Ministère de l'Industrie. Ces fonds sont répartis en concertation avec les différents partenaires publics et privés, dont le Centre Commun de Rousset CCR2 (laboratoire commun ST/Fresnel/CMP/L2MP). Au-delà des actions scientifiques, ces fonds ont permis d'équiper l'Institut de façon conséquente (logiciels de modélisation, stations informatiques, microscopie en champ proche, ellipsométrie...). Enfin, ces actions à l'interface de la microélectronique et de l'optique ont desservi plusieurs équipes au sein de l'UMR, dont MAP2 (scatterométrie, imageurs C-MOS), MAP2/CLARTE (modélisation lumière/pixel), GSM (biométrie...) et MOSAIC (biochips).

XIII.7.2. Soldes GSM

UP récurrent (MENRT) : 1216€ TTC

CNRS : néant (hors récurrent)

Autres Soldes (€)

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
GSM	24,65	4 242,15	21 252,11	21 023,90	31 162,97	31 162,97

XIII.8. Budget COM

XIII.8.1. Ressources COM

Thématique O.I.						
Somme de Montant TTC						
CODE RAPPORT CNRS et QUADRI	Année	N° compte	Organisme Payeur	Type contrat ou su	Responsable	Total
ANR	2005	5A0093	ANR GIP	ANR	J.J. Simon P. Torchi	12 198,34 €
	Total 2005					12 198,34 €
	2006	5A0093	ANR GIP	ANR	J.J. Simon P. Torchi	24 396,68 €
	Total 2006					24 396,68 €
Total ANR						36 595,02 €
Collectivités territoriales	2004	4249 UB 930	Conseil Régional	Subvention PACA	L. Escoubas	78 936,00 €
	Total 2004					78 936,00 €
Total Collectivités territoriales						78 936,00 €
Communauté européenne	2003	8502 R3	Europe 5ème PCRD	5ème PCRD Eurof	L. Escoubas	188 968,00 €
	Total 2003					188 968,00 €
Total Communauté européenne						188 968,00 €
Ressources propres	2003	531 C 4-26	TOPEQUA	Actions commercia	L. Escoubas	598,00 €
		531 C 4-27	TECSEN-CNRS	Actions commercia	L. Escoubas	1 146,37 €
	Total 2003					1 744,37 €
	2004	350 C 4-30	IRILAB Sté	Actions commercia	JJ Simon	1 196,00 €
	Total 2004					1 196,00 €
	2005	5020	DGA	contrat de recher	L. Escoubas	50 000,00 €
		531 C D4-28	IUSTI UMR6595	Actions commercia	L. Escoubas	4 784,00 €
		531 C D4-29	IUSTI UMR6595	Actions commercia	L. Escoubas	7 176,00 €
		Géré par l'AVIR	ANVAR	Aide à l'innovation	L. Escoubas	30 000,00 €
		Gestion par les Alle	Centre de coopératio	Franco/allemand	J.-J. simon	
	Total 2005					91 960,00 €
Total Ressources propres						94 900,37 €
Total						399 399,39 €

XIII.8.2. Soldes COM

UPCAM

30/06/2006			UPCAM-ANNEE 2006			
UB	CR	UC	NOM	EQUIPE	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL AU 08/06/06
930	C204	4249	R.PACA	OI	66 000,00 €	36 507,10 €
920	C104	5020 C	DGA	OI	50 000,00 €	46 053,46 €
930	C204	8502 R3	NANOPHOS	OI	158 000,00 €	5 203,34 €
				SOUS TOTAL OI	274 000,00 €	87 763,90 €

EGIM

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
PECHINEY	L. Escoubas	705	9 604,29	122,81
CREMSI-REGION	L. Escoubas	714	50 563,52	122,06
CREMSI-CG	L. Escoubas	718	20 428,17	22,86
CREMSI-CG38	L. Escoubas	723	106 714,31	56,57
CREMSI-PACA 38	L. Escoubas	725	19 119,86	-507,29
ANVAR FF	L. Escoubas	731	4 180,60	301,30
IBS LUCO	L. Escoubas	732	20 000,00	158,79
FEDER	L. Escoubas	741	177 871,00	-0,11
FSE	L. Escoubas	742	58 683,43	6 656,47
TOTAL DES COMPTES L. ESCOUBAS			467 165,18	6 933,46

EGIM- Actions C : RCMO/MAP2/OI

NOM	EQUIPE	UC	MONTANT DU CONTRAT	SOLDE FRESNEL au 28 mars 2006
	OI	531	10 680,51	6 593,70
	RCMO	531	68 048,35	26 089,02
	MAP2	531	19 130,75	555,75
TOTAL OI/RCMO/MAP2 - 531 C			97859,61	33 238,47

UP récurrent (MENRT) : 1259€ TTC (fonds réservés)

CNRS

N° COMPTE	NOM	EQUIPE	Responsable	Montant TTC	Solde 31/12/2005	Solde au 30/08/2006
5A0093	ANR 093 2005	COM	J.J. Simon P. Torchio	36 595,02 €		22 707,04

Autres Soldes (€)

	Récurrent CNRS OMA153		Récurrent UPCAM 350/142 UB 920		Actions C UPCAM 350 C UB 930	
	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006	Solde 31/12/2005	solde au 30/08/2006
Opt.Intégrée	122,35	5 852,49	xx	xx	461,89	263,49

*Sur ce solde global il nous faudra rendre environ 60k€ aux établissements

XIV - PLAN DE FORMATION DE L'INSTITUT

On trouvera ci-dessous l'ensemble des formations suivies par les personnels de l'unité. De façon générale on peut souligner que c'est dans le domaine de l'informatique administrative et de gestion, et dans celui de l'hygiène et la sécurité, que ces formations sont cruciales dans le contexte actuel (administration sous-dimensionnée, site unique en cours). Ce constat ne doit pas réduire l'intérêt des formations plus scientifiques ou techniques, dont celles concernant l'automatisation/acquisition de données.

Année 2005

Nom de l'Agent	Corps	Type de formation	Début	Nombre de jour	Organisateur Et lieu
BENTOZA Patricia	AI	EXCEL Thème S2	08/06/2005	2 jours	CNRS DR12
		EXCEL Thème S3	21/06/2005	2 jours	CNRS DR12
		LABINTEL V5	18/07/2005	2 jour	CNRS DR12
		Recyclage Secouriste	06/06/2005	½ jour	CNRS DR12
		Réunion Gestionnaire d'unité	13/06/2005	1 jour	CNRS DR12
		S1 LA LOLF « impact de la réforme »	03/10/3005	1 jour	CNRS DR12
CATHELINAUD Michel	IR2	Recyclage secouriste	17/10/2005	½ jour	CNRS DR12
FORESTIER Frédéric	IE	Journée Réseaux A	05/12/2005	2 jours	CNRS DR12
GEFFRIN Jean-Michel	IR2	S2 Langage C++	14/11/2005	1 jour	CNRS DR12
KOC Cihan	Tcn	Master en instrumentation	01/10/20053 0/06/2006	2 ans	
MAILLET Françoise	T	Labintel V5	08/09/2005	2 jours	CNRS DR12
		Réunion des gestionnaires d'unité	13/06/2005	1 jours	CNRS DR12
STEFANINI Laure	AJT	Réunion des gestionnaires d'Unité	13/06/2005	1 jours	CNRS DR12
		Secouriste recyclage	20/10/2005	1/2 jours	CNRS DR12

Année 2004

Nom de l'Agent	Corps	Type de formation	Début	Nombre de jour	Organisateur Et lieu
BENTOZA Patricia	AI	Sensibilisation à la Lolf	06/12/2004	1 jours	CNRS DR12
CATHELINAUD Michel	IR2	Recyclage Secouriste	04/10/2004	½ journée	CNRS DR12
KOC Cihan	Tcn	DESTU Informatique	17/10/2003		CNRS DR12
LENNE Pierre François	CR2	FEMTO	21/09/2004	1 jour	CNRS DR12
RIGNEAULT Hervé	CR1	FEMTO	21/09/2004	1 jour	CNRS DR12
STEFANINI Laure	AJT	Formation secouriste	07/10/2004	1 jour	CNRS DR12
S. Monneret P.F. Lenne H. Rigneault	CR2 CR2 CR1	Ecole thématique interdisciplinaire « Microscopie fonctionnelle en biologie »	12-17 sept. 04	6 jours	Oléron

Année 2003

Nom de l'Agent	Corps	Type de formation	Début	Nombre de jour	Organisateur Et lieu
BENTOZA Patricia	AI	Recyclage Secouriste	07/04/2003	½ journée	CNRS DR12
CATHELINAUD Michel	IE 1	Recyclage Secouriste	20/10/2003	½ journée	CNRS DR12
GOITRE Nathalie	CDD T	Réglementation missions (engagement xlab)	06/03/2003	2 jours	CNRS DR12
		X-lab Session 2	06/02/2003	6 jours	CNRS DR12
JUAREZ Mirta	CDD T	Réglementation missions (engagement xlab)	21/01/2003	2 jours	CNRS DR12
KOC Cihan	Tcn	DEST Informatique et réseaux	01/10/2002		
MAILLET Françoise	T	Réglementation missions (engagement xlab)	1/01/2003	2 jours	CNRS DR12
		Xlab perfectionnement	10/03/2003	3 Jours	CNRS DR12
ROUSSEL Luc	IE2	DEST Informatique cycle B 02/03	15/06/2002	2 jours	CNRS DR12
		Recyclage secouriste	08/04/2003	½ jour	CNRS DR12

XV - GESTION DES CARRIERES

La gestion des carrières est un élément indispensable à la *sérénité et la performance de toute entreprise*. Les laboratoires n'échappent pas à ce constat, d'où la nécessité de *préparer*, au sens noble du terme, les *carrières* des personnels : formation des jeunes chercheurs et personnels techniques, suivi de leur production scientifique ou respect de l'emploi type, contour des activités en regard de la section CNU/CNRS ou de la BAP... A la création de l'Institut en 99, existaient des retards de carrière véritablement importants (G. Albrand, G. Marchand...) que nous avons pu résorber avec l'aide du CNRS et des établissements. Ce constat initial nous a sensibilisés à une bonne gestion des dossiers carrière dont le bilan peut aujourd'hui être résumé comme suit :

XV.1. Cas des HDR

personnel EC ou chercheur	EPST ou EPIC	année d'accueil à l'IF	grade et corps au recrutement ou mutation	date HDR	nomination PR2 ou DR2	promotion PR1 ou DR1	promotion PRCE ou DRCE	remarque	origine du poste Pr
AKHOUAYRI Hassan	EGIM	1992	MCF	1991	1999				Salvini
AMRA Claude	CNRS	1986	CR2	1990	1996	2005			x
BOURENNANE Salah	EGIM	1999	PR2	1998	1998				création
COMMANDRE Mireille	EGIM	1985	Assistante	1992	1996	2004			création
DEUMIE-RAVIOL Carole	EGIM	1998	MCF	2004	2006				création
ENOCH Stefan	CNRS	1998	MC	2003	x			CR2 en 2001	
ESCOUBAS Ludovic	EGIM	1998	MCF	2003	x				
FLORY François	EGIM	1976	contractuel	1987	1997	2001			Fornier
GIOVANNINI Hugues	UIII/IUT	1991	MCF	1996	2000				Roche
GOUDAIL François	EGIM	87		2004	2005			PR2 ESO	x
GUERIN Charles-Antoine	U3	1999	MCF	2005	x				
GUILLAUME Mireille	EGIM	1995	MCF2	2005	x				
HUARD Serge	EGIM	1986	PR	thèse d'état en 77	1985	1990			création
LEQUIME Michel	EGIM	2000	PR2	1996	2000			PAST en 97 (BERTIN)	Oualid
MAYSTRE Daniel	CNRS	1968	AR agrégé	1974	1977	1990	2003		x
NATOLI Jean-Yves	UIII	1995	MCF2	2003	2005				création
NEVIERE Michel									?
NICOLET André	UIII	2000	PR2	1996	1996				mutation
POPOV Evgueni	UI	2000	PR1	1990	1990	2000			?
REFREGIER Philippe	EGIM	94	PR2	93		99		Thales	Paillet
RIGNEAULT Hervé	CNRS	1995	CR2	2000	2006				x
SAILLARD Marc	USTV	1990	CR2	1995	PR2 1997	2003			Deleuil
SENTENAC Anne	CNRS	1997	CR1	2001	x				
TAYEB Gérard	UIII	1985	MA	1995	1998	2004			Petit
VINCENT Patrick	UIII	1971	A	1978	1988				?
ZOLLA Frédéric	UI	94	94	2004	x				

Récapitulatif des carrières des HDR

L'analyse du tableau précédent révèle, sur la période des 2 quadriennaux et pour tous les personnels, *un écart inférieur à 6 ans entre la date d'HDR et le passage à un rang de collègue A* (Ecoles, Universités et CNRS inclus), ce qui est très encourageant (8 promotions sur les 2 quadriennaux). Par ailleurs, sur les 19 cas renseignés (dont l'historique est antérieur à la création de l'UMR), seuls 4 d'entre eux révèlent un écart supérieur à 6 ans, ce qui donne une idée de la carrière dans ce contexte. Enfin, 3 de nos jeunes HDR peuvent envisager sérieusement des promotions dans les 2 années à venir sur le campus. Il est bien évident que ce succès pose parallèlement et sérieusement le problème du développement exogène, en cours de réflexion (comment obtenir des moyens pérennes pour attirer de nouveaux seniors confirmés). Signalons également que le recrutement d'industriels (dont la reconstitution de carrière n'a pas forcément été considérée) a été d'un bénéfice net pour le laboratoire.

**la grande majorité des personnels HDR a pu bénéficier de la PEDR au cours des 2 quadriennaux (document intranet Fresnel)*

XV.2. Cas des personnels ITA/IATOS

Personnel ITA/IATOS	date de naissance	statut	grade et corps au premier recrutement dans l'EPST/EPSCP	année de recrutement ou mutation à l'IF	grade et corps au recrutement ou mutation à IF	promotion 1 avec date	promotion 2 et date	promotion 3 et date	remarque
P. Bentoza	14/08/1960	TA-CNRS	AJT 1988	1998	T	AI - 2001 Concours interne			Formation continue IUT DUT Gestion 1996
M. Cathelinaud	13/11/1965	TA-CNRS	IE2 1991	1995	IE2	IE1C - 2001 Grade au choix	IR2 - 2003 Concours interne	2004 Echelon accéléré	
B. Gazel	15/10/1972	TA-CNRS	AI - 2005	2005	AI				
J.M. Geffrin	31/10/1965	TA-CNRS	IR2 - 1995	2002	IR2	2005 Echelon accéléré			
C. Koc	10/03/1979	TA-CNRS	T - 2002	2002	T				Formation CNAM DESS
L. Roussel	25/07/1963	TA-CNRS	AI - 1991	2001	IE2	IE2 - 2001 Concours interne	IE1C - 2005 Grade au choix	2005 Echelon accéléré	
L. Stefanini	16/04/1979	TA-CNRS	AJT - 2004	2002 (CDD) 2004 Titulaire	AJT	2005 Echelon accéléré			
F. Forestier	15/01/1969	IATOS-U3	Maître auxiliaire 01/09/1994-1999	2000	IE2C	IE2C - 2000			AI - 1999 à ENSAM à Aix
F. Maillet	09/01/1948	IATOS-U3	13/09/1972	2001	SASU CE	2005 - réduction 2mois d'ancienneté dans l'échelon			SASU = T Niveau CE en 1994
C. Pacifico	31/01/1966	IATOS-EGI	AJT - 1999	2004	T				
J.P. Spinelli	19/02/1960	IATOS-EGI	Tcn - 2003	2002 CDD 2003 Titulaire	Tcn	TCE - 2005 ? Au choix			CE année à vérifier

Récapitulatif des carrières des ITA/IATOS

Ces données montrent également pour les personnels CNRS (ITA), le bénéfice de la politique que nous avons menée dans ce sens, puisqu'on ne dénote *aucun retard de carrière*, même s'il faut demeurer vigilant. A l'inverse, le cas des *personnels IATOS*, s'il est classique au niveau national, n'en est pas moins *critique* pour autant, compte tenu des difficultés de promotion ou d'absence de politique en ressources humaines (certains personnels récemment accueillis à l'UMR n'ont pas changé de grade depuis 20 ans). Il est à noter que les personnels IATOS fléchés sur une activité recherche sont particulièrement pénalisés, car éloignés des instances décisionnelles des établissements de rattachement.

XVI - BILAN DES RECRUTEMENTS

XVI.1. Croissance des Ressources Humaines : Fresnel et Equipes

Depuis sa création « de fait » en 1999 (48 permanents), les ressources humaines de l'Institut ont crû jusqu'à 66 permanents lors du premier quadriennal (99-03), pour atteindre 74 permanents à l'issue du deuxième quadriennal (03-06). Ceci correspond à un premier accroissement de 18 personnels (premier quadriennal), puis de 8 personnels (deuxième quadriennal), soit un *résultat de +26 permanents sur les 2 quadriennaux*. Le tableau ci-dessous illustre cette croissance pour l'UMR et les équipes.

	1999	2003	2006
CLARTE	9	13,95	16
MAP2	10	8,43	8,6
PHYTI	5	4,35	6
SEMO	9,66	13,21	10,8
RCMO	7,75	9,48	7
GSM*	0	4,35	6
MOSAIC*	1,5	3,5	7
Thématique OI*	3,5	3,5	4
services communs	1,7	5	8,7
total	48,11	65,77	74,1

Flux d'effectifs par équipe et pour l'UMR

On peut s'interroger quant à la diminution de l'accroissement (de 18 à 8) observée sur le deuxième quadriennal, alors que les tutelles/établissements ont parallèlement *consolidé leur politique de soutien* à l'UMR (cas du CNRS et des universités) depuis 2003. Les raisons de ce constat sont diverses; en particulier :

- Les personnels techniques de l'équipe RCMO (G. Albrand, F. Marchand) avaient été remplacés avant leur départ annoncé à la retraite, afin que leurs successeurs puissent être formés en temps utile. Ces remplacements ont donc été effectués au premier quadriennal, pour des cessations d'activité au cours du deuxième quadriennal. Par ailleurs, le remplacement de B. Lazaridès n'a pas été demandé par l'UMR, compte tenu des changements de périmètre thématique.
- Un certain nombre d'enseignants-chercheurs arrivant en fin de carrière au début du premier quadriennal, avaient cessé ou ralenti leur activité recherche avant leur départ effectif à la retraite ; ces personnels n'ont pas tous été remplacés lors du deuxième quadriennal
- La création de l'Institut en 99 avait conduit l'ENSPM, qui subissait un changement de génération, à fléchir sur l'UMR (alors seul laboratoire ENSPM) les quelques enseignants-chercheurs (ou leurs cascades) qui avaient cessé leur activité recherche. Parallèlement l'UPCAM fléchait sur l'UMR quelques jeunes personnels en provenance de laboratoires non reconduits.
- les diverses promotions internes ou externes, intégrations d'enseignants-chercheurs au CNRS, ou mutations de type NOEMI vers l'extérieur, retraites..., ont focalisé les campagnes de recrutement du deuxième quadriennal sur les cascades associées, différant ainsi les demandes de création...
- Les demandes de recrutement MCF par les équipes ont été plus modestes sur le deuxième quadriennal, compte tenu de la taille de ces équipes en regard de leurs objectifs, de la jeunesse des effectifs (harmonisation de management) et du *succès obtenu aux différents concours CNRS (CR)*.

- La création de l'EGIM et son déménagement sur le site du technopôle de Château-Gombert ont conduit à une perte en ressources humaines affectées à la logistique partagée entre l'UMR et l'ENSPM (hébergées sur le même site ENSPM/EGIM Nord).

Il est donc nécessaire de procéder à un *décodage* des variations en ressources humaines, donné dans le tableau ci-dessous. On constatera que le nombre de *créations est quasiment inchangé* sur le deuxième quadriennal, en dépit d'un contexte nettement moins favorable. En revanche, le nombre de pertes s'élève à 9, pour les raisons évoquées ci-dessus. Ce bilan sera détaillé par la suite (cf paragraphes suivants).

	99-02	03-06
cascades	10	4
mutations vers IF	2	3
créations	16	14
total entrants	28	21
nouveaux postes	18	17
pertes	0	9
accroissement	18	8

***Décodage de l'accroissement en ressources humaines
sur les 2 quadriennaux***

On notera de façon générale que :

- L'équipe SEMO a modifié son intitulé (TEM) suite à la mutation de M. Saillard vers Toulon, sans changement notable de périmètre thématique ou d'effectifs. Les effectifs de cette équipe ont diminué (-2 au cours du deuxième quadriennal) suite à cette première mutation, et suite au départ de G. Micolau vers le laboratoire L2MP du même site. Par ailleurs, cette équipe n'a pas émis de demande de recrutement sur la période (03-06), pour une stratégie appropriée de gestion des ressources humaines. *2 recrutements sont cependant priorités* par l'UMR en 2007 (MCF- acquis) et 2008 (Pr- demandé) pour SEMO.

- La création d'une deuxième équipe à vocation « traitement du signal et des images » a porté les *effectifs de cette discipline à 12*, ancrant ainsi plus encore les sections CNU 61 et CNRS 07 dans le laboratoire (équipes PHYTI et GSM). Cet effort a été appuyé par le CNRS en 2005 via le recrutement d'un chargé de recherche (CR2 PHYTI).

- L'innovation dans le domaine des méta-matériaux a également bénéficié d'un soutien incontestable, concrétisé par le *recrutement de 4 chercheurs* CNRS (3 CR2 et 1 CR1- CLARTE).

- Des *efforts notables* ont été consentis pour accélérer le développement de la biophotonique, puisque l'équipe MOSAIC (créée en 2005) rassemble aujourd'hui 5 personnels CNRS (dont 1 personnel ITA) et 2 nouveaux enseignants-chercheurs. La création de cette équipe s'est cependant accompagnée, à la demande de ses acteurs et responsables, d'un changement de périmètre thématique et d'effectifs (*disparition de l'équipe COM*), qui conduit aujourd'hui 4 de nos collègues (thématique O.I.) à rejoindre d'autres laboratoires du pôle de l'étoile. Cette situation fait suite à l'impossibilité pour ces collègues de trouver une équipe d'accueil au sein de l'Institut, dans les conditions souhaitées par ces collègues.

- L'équipe RCMO, *coeur technologique* du laboratoire, a eu pour priorité de former ses nouveaux personnels techniques pour donner un élan neuf à la technologie. Ses demandes de recrutement (+1) et subventions (néant) ont été modestes sur le quadriennal.

- Enfin, l'équipe MAP2 n'a pas pu bénéficier de la cascade de J.P. Borgogno (retraite- IUT) ou de la celle résultant de la promotion de P. Roche (IUT) ; on retiendra cependant l'accueil d'un nouvel IR affecté à la gestion de son parc instrumental ou métrologique.

- Parallèlement, nous avons atteint nos objectifs de flécher au moins un personnel ITA/IATOS sur chaque équipe d'expérimentateurs (MAP2/MOSAIC), et d'assurer un service commun correctement

dimensionné pour l'UMR. Au-delà du soutien affirmé du CNRS, on notera également l'effort notable de l'université Paul Cézanne qui aura fléchi 2 postes IATOS (IR et AJT) sur l'UMR. A l'inverse, il apparaît que l'EGIM retire progressivement ses personnels IATOS de l'UMR.

De façon plus générale, c'est ici l'occasion pour nous de rappeler notre volonté d'ancrer l'ensemble des équipes de l'Institut *en fléchant au moins un chercheur CNRS dans chacune d'elles*. Cette volonté a aussi pour but d'éviter à terme une « innovation monolithique », les moyens attirant le succès et inversement (à la condition nécessaire près de l'excellence scientifique). Certaines thématiques ont en effet pu déboucher sur des projets « communicants » ou d'actualité (ce qui est tout à leur honneur), mais cette émergence a aussi résulté du soutien d'autres thématiques qui doivent à leur tour devenir « communicantes ». A titre d'exemple, la biophotonique est née à l'Institut d'un effort « interne » en s'appuyant tout d'abord sur les couches minces optiques (exaltation dans les microcavités planaires- RCMO), puis sur l'implantation ionique (ions luminescents dans les matrices de couches minces- COM) et les réseaux de diffraction (prolongement des microcavités luminescentes- MAP2/CLARTE), pour continuer aujourd'hui sur la plasmonique et les cristaux photoniques, les pinces optiques... C'est donc dans le « pluralisme » que nous souhaitons poursuivre notre *effort de recrutement*, pour permettre une innovation non contrainte. Signalons enfin les mutations internes de P. Torchio, H. Giovannini et P. Ferrand respectivement vers les composantes O.I. (ex-COM), SEMO et MOSAIC. On trouvera en fin de cette partie un bilan des mouvements internes et externes des personnels de l'UMR.

XVI.2. Départs, reconductions et pertes

Il est intéressant de considérer les « mouvements » des personnels au cours des 2 quadriennaux, vers l'extérieur comme à l'intérieur de l'UMR. Ces mouvements résultent de départs à la retraite, promotions vers l'intérieur ou l'extérieur, changements d'établissement ou d'organisme, mutations ou départs contraints ou spontanés... Le tableau ci-dessous dresse un bilan des *20 personnels qui ont quitté physiquement l'UMR* au cours des 2 quadriennaux. On notera tout d'abord *11 congés pour cessation d'activité* (effective ou de recherche). Par ailleurs, le *bilan des pertes (postes non reconduits) s'élève à 7,3 postes*, dont 1,3 IATOS (récupération par EGIM), 1 ITA (CNRS- cascade non demandée) et 5 enseignants-chercheurs (EC).

La perte en EC se décline comme :

- une mutation spontanée vers un autre laboratoire du campus (G. Micolau)
- une mutation spontanée (et rapide) vers Nantes (S. Lasquellec), non renouvelée par l'IUT UPCAM ; ce poste n'avait pas été demandé par l'UMR, cette dernière ayant été sollicitée en urgence comme laboratoire d'accueil
- la perte de la cascade de M. Saillard (muté sur Toulon pour raisons familiales), récupérée par Polytec Marseille (UFR Provence)
- les pertes des cascades de J.P. Borgogno et Gazoty (UPCAM), dossiers sur lesquels l'UMR n'a pas été sollicitée compte tenu du fait que ces chercheurs avaient cessé leurs activités recherche avant leur cessation effective d'activité

On signalera l'effort et la pertinence du CNRS qui a permis à G. Albrand et G. Marchand de former leurs « successeurs » (Roussel, Koc) aux technologies semi-lourdes (RCMO), bien avant leurs départs à la retraite. Précisons également que le CNRS et les universités, s'ils n'ont pas honoré toutes les cascades, ont injecté de nombreux autres postes dans l'UMR, qui seront détaillés par la suite.

NOM Prénom	Corps, grade	Statut	Etablissement de rattachement	Equipe	Motif	cascade
ALBRAND	IR2	ITA	CNRS	RCMO	retraite	Roussel
BAYLE	TCE.	IATOS	MENESRI	RCMO/MAP2 /COM	retraite	Spinelli
BORGOGNO	PR2	Ens-chercheur	IUT U3	MAP2	"retraite recherche"	aucune
DONNANCRICCHIA	Secrétaire (Cont.)	CDD IATOS	EGIM	Adm. (50%)	récupération EGIM	aucune
GOITRE	Contractuel	ITA-IATOS	ENSPM	PHYTI (50%)	régularisation autre EPST	Donnancricchia
FRIZZI	TE	IATOS	U3	Adm.	retraite	Maillet
GALINDO	MC1	Ens-chercheur	ENSPM	MAP2/TSI	retraite	Derrode
GAZOTY	MC2	Ens-chercheur	U3	TEM	"retraite recherche"	aucune
GENESIO	IE2	IATOS	U3	CLARTE/TEM	échec concours de régularisation	Forestier
GOUDAIL	MC	Ens-chercheur	EGIM	PHYTI	Pr Paris	Allain
JUAREZ	T	IATOS	EGIM	Adm.	mutation interne EGIM	Pacifico
LASQUELLEC	MCF	Ens-chercheur	IUT Salon U3	CLARTE	mutation Nantes	aucune
LAZARIDES	IE1	ITA	CNRS	COM	retraite	aucune
MARCHAND	IE2	ITA	CNRS	RCMO	retraite	Koc
MICOLAU	MC	Ens-chercheur	U3	SEMO	mutation L2MP	aucune
PEZIN	IR2	ITA	CNRS	CLARTE/TEM	direction de PME	Geffrin
RICHIER	MC0	Ens-chercheur	ENSPM	RCMO	retraite	Lemarchand
ROCHE	PR2	Ens-chercheur	IUT U3	MAP2	retraite	Giovannini Pr
SAILLARD Pr	PR1	Ens-chercheur	U1/Polytec	TEM	mutation Toulon	aucune
TROSSEVIN	IGE 2 C	ITA-IATOS	ENSPM	PHYTI (80%)	récupération EGIM	aucune

Liste des 20 départs et/ou reconductions sur les 2 quadriennaux

On notera qu'avec une croissance de +26 personnels, et compte tenu du nombre (20) de départs « physiques », l'Institut a dû accueillir *46 nouvelles personnes* au cours de la période 99-06. Ce chiffre est évidemment différent du nombre de créations/mutations, puisqu'il inclut d'une part les cascades, et tient compte d'autre part, du fait que différentes personnes ont pu occuper le même poste à des moments différents.

**on trouvera en fait 48 entrants, résultant de % d'affectation, et de postes obtenus à la frontière des quadriennaux*

Le bilan des pertes (postes non reconduits) doit être complété en considérant les cascades des personnels qui ont changé d'établissement ou d'organisme, ou qui ont changé de grade, tout en restant dans l'Institut, ce que présente le tableau suivant.

Nom	motif vacance de poste	origine du poste	Cascade
Akhouayri MCF	passage Pr/ENSPM	Salvini/ENSPM	Bertaux
Tayeb MCF	passage Pr/UPCAM	Petit/UPCAM	Renversez
Giovannini MCF	passage Pr/UPCAM	Roche/UPCAM	aucune
Natoli MCF	passage Pr/UPCAM	SLR/UPCAM	Abel
Deumié MCF	passage Pr/EGIM	Pôle de compétitivité /EGIM	aucune
Lenne MCF	intégration CNRS	x	Gallais
Enoch MCF	intégration CNRS	x	Ferrand

Changements de grade ou d'EPST/EPIC

Avec ces 2 derniers tableaux, le bilan général des « pertes » (*départs suivis de cascades non honorées*) s'élève à 9,3 postes sur les 2 quadriennaux. Nous allons maintenant nous intéresser au détail des 48 entrants à l'Institut.

XVI.3. Bilan Synthétique sur le recrutement (créations incluses)

On notera d'emblée le fort accroissement des effectifs CNRS, qui atteignent aujourd'hui 21 personnels (12 chercheurs et 9 ITA). *Ce résultat est nouveau et majeur pour le laboratoire.* De façon plus générale, l'accueil de 48 entrants à l'Institut ne signifie pas que nous sommes réellement maîtres de la politique de recrutement, même lorsque les postes sont fléchés par les établissements sur l'Institut. Le cas le plus favorable est celui des universités (UI/UIII), qui nous attribuent des postes en nous sollicitant en priorité sur le profil recherche, l'adéquation enseignement/recherche étant garantie dans une deuxième étape. En ce qui concerne l'EGIM, le profil pédagogie est la priorité, à laquelle l'UMR tente de souscrire si ses thématiques de recherche le permettent. Par ailleurs, nous ne maîtrisons pas forcément les accroissements relatifs des sections 61 et 63/30 de l'UMR, qui se nourrissent de sources différentes. Il n'y a pas non plus de *blanchiment interne* systématique au sein de l'UMR, à savoir que le remplacement des départs au sein d'une équipe est toujours une priorité (liée au label d'équipe). Enfin, l'UMR ne maîtrise pas (à juste titre) le choix des candidats retenus par le CNRS (concours chercheurs), ni donc le fléchage des chercheurs vers les équipes qu'elle voudrait prioriser au CNRS. Dans ce contexte général, une *couleur d'établissement* s'est globalement maintenue dans les équipes, à savoir que leurs chercheurs sont majoritairement rattachés à un EPST/EPIC particulier. Cette situation n'est pas idéale pour une politique scientifique indépendante des établissements, ces derniers pouvant considérer qu'ils ont leurs *propres* équipes au sein de l'Institut. Cette remarque étant faite, on peut considérer sans réserve que les universités et le CNRS ont jusqu'ici toujours soutenu la politique scientifique définie (par et) au sein de l'Institut.

Les 48 entrants listés dans le tableau ci-après ont bénéficié de cascades, créations ou mutations, promotions... pour un accueil à l'UMR. On peut distinguer 5 « mutations » et 27 « créations », le complément étant donné en cascades. Précisons cependant le vocabulaire utilisé pour identifier sans ambiguïté les postes *réellement nouveaux*:

- « cascade interne » désigne une cascade sur un poste déjà attribué à l'UMR, au contraire des cascades provenant d'autres disciplines ou laboratoires (blanchiment au bénéfice de l'UMR)
- « mutation » se réduit au cas des personnels nouveaux ayant décidé de rejoindre l'UMR avec leur poste ; ce terme n'inclut pas les personnels recrutés sur des créations ou NOEMI, mais occupant précédemment une fonction de permanent dans un autre laboratoire

- Le terme « création » inclut tous les nouveaux postes : créations annuelles, cascades venant d'autres disciplines ou laboratoires, et mutations véritables (personnels nouveaux venant avec leur poste)

Entrants	Etablissement "donneur"	Equipe	Année	Cascade	Mutation	"Création"	Choix "libre"	Commentaire
CHAUMET	U3	CLARTE	01/09/00	non	non	oui	oui	
STOUT	U3	CLARTE	01/11/00	non	non	oui	oui	
LENNE MCF	EGIM	MOSAIC	01/10/01	non	non	oui	oui	UPCAM=>CNRS
LITMAN	U1	SEMO	01/10/02	non	non	oui	oui	UFR Polytec
MICOLAU	U3	CLARTE	01/09/02	non	non	oui	oui	
GALLAIS	EGIM	MAP2	01/09/03	LENNE CNRS	non	non	oui	
WAGNER	U3	MAP2	01/09/04	non	non	oui	oui	
ALLAIN	U3	PHYTI	01/09/05	non	non	oui	oui	
ABEL	EGIM	RCMO	01/09/06	NATOLI Pr	non	non	oui	
BRASSELET	U3	MOSAIC	01/09/06	non	non*	oui	oui	
FERRAND	U3	MOSAIC/ MAP2*	01/02/05	ENOCH CNRS	non	non	oui	pas de demande MCF en 03
FEHREMBACH	U3	CLARTE	01/09/04	non	non	oui	oui	
SORIANO	U3	SEMO	01/09/01	non	non	oui	oui	
NICOLET	U3	CLARTE	01/01/2000	non	oui	non	non	
POPOV	UI	CLARTE	01/09/00	non	non	oui	non (IUF)	IUF
BERTAUX	EGIM	PHYTI	01/09/00	AKHOUAYRI Pr	non	non	non*	Pr 61 rendu
LEMARCHAND	EGIM	RCMO	01/09/00	RICHIER	non	non	non	RCMO
SIMON	UPCAM	OI	01/09/2002	non	oui	non	non	TECSEN
LASQUELLEC	U3	CLARTE	01/09/02	non	non	oui	non*	poste non demandé
DERRODE	EGIM	GSM	01/10/01	GALINDO	non	non	non	61
ROCHE M.	EGIM	PHYTI	01/09/02	POSPOURIKAS	non	oui*	non	Math => 61
MONNERET	CNRS	MOSAIC	01/09/03	non	oui	non	non	
GRALAK	CNRS	CLARTE	01/10/2004	non	non	oui	non	
ADEL	U3	GSM	01/09/04	non	oui	non	non	IUT Salon
BONOD	CNRS	CLARTE	01/09/06	non	non	oui	non	
GUENNEAU	CNRS	CLARTE	01/09/05	non	non	oui	non	
GALLAND	CNRS	PHYTI	01/10/05	non	non	oui	non	
WENGER	CNRS	MOSAIC	01/09/05	non	non	oui	non	
KHALIGHI	EGIM	GSM	01/09/05	CHIMIE (Baretta)	non	oui*	non	Chimie => 61
MCF PHYTI 06	EGIM	PHYTI	01/09/06	GOUDAIL	non	non*	non	PHYTI
FAVARD*	CNRS	MOSAIC	01/11/06	non	oui	non*	x	
STEFANINI	CNRS	FRESNEL	01/10/2002	non	non	oui	x	
IR MAP2	U3	MAP2	01/11/06	non	non	oui	x	pôle de compétitivité
KOC	CNRS	RCMO	01/01/2002	MARCHAND	non	non	x	
ROUSSEL	CNRS	RCMO	01/04/2001	ALBRAND	non	non	x	
HATCHIKIAN	U3	FRESNEL	01/11/2005	non	non*	non*	x	
GAZEL	CNRS	FRESNEL	01/12/2005	non	non	oui	x	
MAILLET	U3	FRESNEL	01/09/01	FRIZZI	non	non	x	
PACIFICO	EGIM	FRESNEL	01/09/04	JUAREZ	non	non	x	
Forestier	UPCAM	CLARTE/ SEMO	01/09/2000	GENESIO	non	non	non	
SPINELLI	EGIM	FRESNEL	01/09/02	BAYLE	non	non	x	
GEFFRIN	CNRS	MAP2/ SEMO	01/10/2002	PEZIN	non*	non	x	
Lenne CNRS	CNRS	MOSAIC	01/10/02	non	non	oui	non	
Enoch CNRS	CNRS	CLARTE	01/10/02	non	non	oui	non	
Natoli Pr	EGIM	MAP2	01/09/2005	non	non	oui	promotion	SLR
Giovannini Pr	UPCAM	SEMO	01/09/2000	ROCHE P.	non	non	promotion	
Akhouayri Pr	ENSPM	MAP2	01/09/1999	SALVINI	non	oui*	promotion	
Deumié Pr	EGIM	MAP2	01/09/2006	non	non	oui	promotion	pôle de compétitivité

Liste des 48 entrants à l'Institut sur les 2 quadriennaux

On peut aller plus loin dans l'analyse de ce dossier en considérant *le cas des 30 postes MCF ou CR* accueillis au sein des différentes équipes, avec l'établissement « donneur » (tableau ci-dessous). Ces données incluant le cas des cascades (internes) et mutations, elles n'indiquent pas l'accroissement des équipes, mais permettent de voir comment une *couleur d'établissement* peut progressivement se maintenir ou s'installer dans les équipes.

	UPCAM	UI	EGIM	CNRS
CLARTE	6	1	0	4
MAP2	2	0	1	0
PHYTI	1	0	3	1
MOSAIC	1	0	1	3
SEMO	1	1	0	0
RCMO	0	0	2	0
GSM	0	0	2	0
	11	2	9	8

Entrants MCF ou CR (cascades et mutations incluses)

**la lecture de ce tableau des entrants doit être complétée par les mouvements internes à l'UMR, qui sont présentés plus loin*

Parmi ces 30 postes, et comme indiqué en début de paragraphe, nous n'avons eu que *13 possibilités de choix véritablement libres* (hors section, cascade interne et mutation, pédagogie...). On trouvera le fléchage sur les équipes dans le tableau ci-dessous.

	UPCAM	UI	EGIM
CLARTE	4	0	0
MAP2	2	0	1
PHYTI	1	0	0
MOSAIC	1	0	1
SEMO	1	1	0
RCMO	1	0	0
GSM	0	0	0
	10	1	2

Choix « libres » par équipe et établissement

En résumé, cette réflexion montre la difficulté des campagnes de recrutement sur différents établissements, qui ne permet pas forcément de ré-équilibrer les *colorisations* de type équipe/établissement. Celles-ci sont actuellement rappelées dans le tableau ci-dessous, pour les chercheurs et EC :

	UPCAM	UP	EGIM	CNRS
CLARTE	3,5	5	0	6
MAP2	1	0	7	0,3
PHYTI	1	0	4	1
MOSAIC	2	0	0	4
SEMO	4,5	3,8	0	0,5
RCMO	0	0	4	0
GSM	1	0	5	0
	13	8,8	20	11,8

Colorisation équipes/établissements

On notera enfin, concernant la liste d'entrants et sur 26 recrutements, 15 personnels formés en dehors de l'UMR, pour 11 personnels formés à l'UMR (58% d'« extérieurs »). Il est également utile d'indiquer que :

- le dossier recrutement (hors promotion) *a toujours fait l'unanimité* des chefs d'équipe en 7 années de campagne auprès des établissements
- *toutes les demandes de recrutement ont été satisfaites* l'année de la requête ou celle qui a suivi, sur la période des 2 quadriennaux

Pour conclure, ce dernier tableau rappelle les dates d'accueil des nouveaux personnels dans les équipes :

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CLARTE	Chaumet Stout Nicolet Popov		Micolau Lasquellec Enoch CNRS		Fehrembach Gralak	Guenneau	Bonod		
MAP2				Gallais	Wagner	Ferrand	Zerrad		MCF
PHYTI	Bertaux		Roche Simon			Allain Galland	Roueff		
COM/MOSAIC		Lenne MCF	Lenne CNRS	Monneret		Wenger	Brasselet Favard		
SEMO		Soriano	Litman					MCF Pr	
RCMO	Lemarchand	Roussel	Koc				Abel		
GSM		Derrode			Adel	Khalighi			MCF
CLARTE/SEMO	Forestier		Geffrin						
SC		Maillet	Stéfanini Spinelli		Pacifico	Hatchikian Gazel			

Création
Mutation
cascade



Entrants par année et équipes (mutation/créations/cascades incluses)

**Enoch CNRS et Lenne CNRS indiquent l'intégration
de ces personnels MCF UPCAM et MCF EGIM au CNRS*

XVI.4. Mouvements Internes à l'UMR

L'Institut ayant été créé en moins de 3 mois (1999) avec 6 équipes, une phase de *maturation* avec des *mouvements internes* était indispensable pour une stabilisation. Ces mouvements internes, dont la gestion n'est pas forcément simple à t_0 , ont jusqu'ici presque toujours conduit l'UMR à accroître sa production scientifique ou sa lisibilité thématique. Ils sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

	Quadri 1	Quadri 2
SEMO <=> CLARTE	variable	variable
COM => MOSAIC	x	3
COM => O.I.	x	4
MAP2 => MOSAIC	x	1
MAP2 => SEMO	0,5	x
RCMO => O.I.	x	1
PHYTI => GSM	3	x

Mouvements internes sur les 2 quadriennaux

XVI.5. Politique des thèses

Avec les campagnes de recrutement, la politique des thèses constitue l'un des *dossiers récurrents majeurs* pour le laboratoire. Si ce dossier est toujours traité en concertation étroite avec les responsables d'équipe, et a toujours abouti à une *quasi-unanimité de ces responsables* grâce à la prise en compte de la mémoire des dossiers précédents (bilan des doctorants présents dans les équipes, nature des bourses, effectifs des équipes et qualité des sujets proposés...), il n'en demeure pas moins que les objectifs recherchés ne sont pas toujours atteints.

Les raisons de ce constat sont nombreuses :

- Les sections 63, 30 et 61 de l'UMR ne se nourrissent pas des mêmes étudiants
- Les options Optique et Image n'affichent pas toujours un nombre équivalent d'étudiants
- La création de l'EGIM a momentanément appauvri la source d'étudiants en Master, pour l'option Optique
- Les organismes donneurs de bourse (CNRS, CNES, DGA, Région...) affichent des politiques scientifiques différentes, avec des délais de réponse différents
- Un nombre notable de bourses est réservé aux élèves ingénieurs (CNRS/DGA...), ou aux étudiants européens (Ecole Doctorale), nous privant ainsi d'un recrutement international
- La désaffection des sciences conduit nombre de candidats à se désister tardivement pour un emploi direct, après avoir rempli des dossiers de candidature *nominatifs*
- Les AMX, AC et IUF... ne sont pas prévisibles, même si elles sont d'un bénéfice net pour le laboratoire
- Le souhait des étudiants ne coïncide pas forcément avec la *priorisation* des sujets (la politique scientifique) effectuée par l'UMR
- Le classement des sujets par l'UMR doit s'harmoniser avec la qualité des dossiers des étudiants (résultats aux examens et stages du Master), laquelle de surcroît est connue tardivement (après le dépôt des candidatures)
- Enfin, les décisions de l'Ecole Doctorale demeurent souveraines...

Il s'agit là, bien plus que le dossier lié au recrutement des permanents sur différents établissements, de *l'équation la plus complexe* à résoudre chaque année, pour des raisons indépendantes de l'UMR. On notera cependant le soutien affirmé de la DGA et de la Région (en plus du CNRS et l'ED, le CNES, l'ANRT...), qui nous ont permis d'accueillir plus d'une dizaine de doctorants par année depuis la création de l'UMR. Ainsi en 6 années de fonctionnement, une seule proposition de bourse (avec candidat) n'a pu être satisfaite, et a été finalement rémunérée sur fonds propres de l'équipe (M. Zerrad/MAP2). A l'inverse, l'absence ou le désistement (ou le dossier) de candidats a conduit, selon les années, à pénaliser l'une ou l'autre équipe de l'UMR pour l'année en cours. Ce dossier est évidemment majeur pour le devenir de l'Institut, compte tenu des candidatures de ces doctorants aux différents concours post-thèse. Un effort important a été porté sur l'étranger et sur les CIFRE dans ce contexte, mais ne résout pas le problème post-thèse. De même, les étudiants brillants partis en post-doc sont recrutés directement à l'étranger, avant même de candidater au CNRS ou à l'université... On trouvera le détail quantitatif de ce dossier dans le document quadriennal UR2.xls (volet Ministère). Précisons enfin que nos doctorants bénéficient de la dynamique du secteur des sciences pour l'ingénieur pour *trouver rapidement un emploi*, dans le public (universités, CEA, CNRS, CNES...) ou le privé (grands groupes et PME/PMI, start-up...- cf document UR2 Ministère). Les tableaux qui suivent tracent un bilan de notre politique sur ce dossier.

XVI.5.1. Thèses soutenues

NOM Prénom	Date début	Date fin	Type de bourse	Equipe	Devenir
BEGON Cédric	01/10/98	08/03/02	DGA	MOSAIC	Ingénieur Essilor
DURING Anne-Lise	01/10/99	05/12/02	CNRS REGION	MAP2	Ingénieur CEA
GAGLIANO Olivier	01/10/99	22/11/02	CIFRE	MAP2	Ingénieur ST Micro
GALLAIS Laurent	01/10/99	11/2002	DGA	MAP2	MCF
PARMENTIER Rémy	01/10/99	27/09/02	CNRS Région	RCMO	Ingénieur Léosphere
ETIENNE Emilien	01/10/00	17/12/03	MRT	MOSAIC	IR CNRS IBSM
FEHREMBACH Anne-Laure	01/10/00	29/09/03	CIFRE	CLARTE	MCF IF
DROUARD Emmanuel	01/10/00	08/07/03	CNRS Région	COM	MCF LEOM
GUERIN Nicolas	01/10/00	25/09/03	MRT	CLARTE	Post Doc Zurich
KUHLMEY Boris	01/10/00	04/07/03	MRT	CLARTE	Chercheur Australie
BONOD Nicolas	01/10/01	03/09/04	MRT	CLARTE	CR CNRS IF
FLORIOT Johan	01/10/01	11/10/04	CIFRE	RCMO	Ingénieur Imagine Optic
GALLAND Frédéric	01/10/01	01/12/04	MRT	PHYTI	CR CNRS IF
GILBERT Olivier	01/10/00	08/12/04	CNRS/CNES	MAP2	Post Doc CEA
LUMEAU Julien	01/10/01	12/10/04	CNRS Région	RCMO	Chercheur CREOL (USA)
MUTI Damien	01/10/01	02/12/04	MRT	GSM	Prépa Agreg.
OLIVIER Thomas	01/10/01	05/01/04	MRT	MAP2	MCF LTSI
VOARINO Philippe	01/10/01	07/09/04	CNRS Région	MAP2	Post Doc CEA
ABEL-TIBERINI Laetitia	01/10/02	13/10/05	MRT	RCMO	MCF IF
BERTUSSI Bertrand	01/10/02	12/07/05	DGA	MAP2	Ingénieur CEA
BILLARD Franck	01/10/02	11/07/05	MRT	MAP2	Post Doc L'Oreal/Fresnel
CARINCOTTE Cyril	01/10/02	10/05	MRT	GSM	Ingénieur en Belgique
CMIELEWSKI Octavien	01/10/02	16/11/05	DGA	SEMO	Enseignant à la Réunion
HIRIGOYEN Flavien	01/10/02	11/05	CIFRE	MAP2	Ingénieur dans le privé

MAZINGUE Thomas	01/10/02	23/09/05	CIFRE	COM	Ater Montpellier
DUBOIS Anthony	01/10/20	30/09/05	MRT	SEMO	Ingénieur Labo. Ponts et Chaussées
MOINE Olivier	01/10/02	28/11/05	BDI	CLARTE	Post Doc
ROUX Nicolas	01/10/02	11/01/05	DGA	PHYTI	Ingénieur SAFRAN
SANDEAU Nicolas	01/10/02	27/11/05	MRT	MOSAIC	Post Doc Cachan
BOYER Philippe	01/10/03	06/10/06	MRT	CLARTE	Post-doc X-LIM
DELYON Guillaume	01/10/03	28/11/06	MRT	PHYTI	Ingénieur Thales
ENDERLI Cyril	01/10/03	24/05/06	CIFRE	PHYTI	Ingénieur Thales
EYRAUD Christelle	01/10/03	05/12/06	MRT	SEMO	Ater Rennes
MARTIN Pascal			Région/Entreprise	PHYTI	Chef d'entreprise
KROL Hélène	01/10/03	29/11/06	CIFRE	MAP2	Ingénieur CILAS
MANGEAT Thomas	01/10/03	06/12/06	MRT	COM	Ater Montpellier
DJAKER Nadia	01/10/03	03/11/06	ACI Ministère	MOSAIC	Soutenance en 11/06

XVI.5.2. Thèses en cours

NOM Prénom	Date début	Type de bourse	Equipe
ZERRAD Myriam	02/11/03	CDD ADER	MAP2
BENELLI Giacomo	01/10/03	MRT	CLARTE
ARNAUD Laurent	06/03/04	CIFRE	MAP2
CONSEIL Simon	01/09/04	CIFRE	GSM
BADOIL Bruno	01/10/04	CNRS Région	RCMO
CAPOULADE Jérémie	01/10/04	MRT	MAP2
GEORGES Gaëlle	01/10/04	DGA	MAP2
MICHEL Sébastien	01/10/04	MRT	RCMO
MONESTIER Florent	01/10/04	MRT	COM
GACHET David	01/10/04	MRT	MOSAIC
MORIO Jérôme	01/10/04	ONERA Région	PHYTI
KETCHANTANG William	01/11/04	CIFRE	GSM
MAROT Julien	01/11/04	Région Entreprise	GSM
PONS Gemma	01/12/04	CIFRE	PHYTI
OULDAGHA Yacoub	09/12/04	Bourse Mauritanie	CLARTE
HERNANDEZ Stéphan	11/04/05	CNES	CLARTE
CESARIO Jean	01/09/05	AMX	CLARTE
LAMARRE Jean-Michel	01/09/05	EGIDE/Canada	RCMO
DROUART Fabien	01/09/05	BDI CNRS	CLARTE
BOUFFARON Renaud	01/10/05	DGA	COM
HILDENBRAND Anne	01/10/05	DGA	MAP2
MAGRANER Eric	01/10/05	DGA	PHYTI
SPIGA Philippe	01/10/05	DGA	SEMO
LENCREROT Raphaël	01/10/05	MRT	SEMO
DRSEK Filip	01/10/05	MRT	SEMO
DEMESY Guillaume	04/01/06	CIFRE	MAP2
DUCHENE Marie	06/03/06	CIFRE	RCMO
MALIDE Mohamed	04/09/06	MRT	CLARTE
GODARD Pierre	04/09/06	MRT	CLARTE
BOULANGER Jean-François	01/10/06	Région/Entreprise	PHYTI
CIAPPONI Alessandra	01/10/06	CNRS Région	MAP2
HUCK Alexis	01/10/06	DGA	GSM
NOUGUIER Frédéric	01/10/06	DGA	SEMO
FADE	01/10/06		PHYTI
PIANTA Martina	01/10/06	MRT	MOSAIC

XVII - LES COMMISSIONS INTERNES A L'INSTITUT

Une faiblesse récurrente de l'Institut résidait dans le nombre réduit de responsabilités collectives assumées au sein du laboratoire. Si la production de connaissances nouvelles demeure la mission première du métier de chercheur, il n'en demeure pas moins que celle-ci doit être accompagnée de moyens financiers, humains et logistiques conséquents. Compte tenu de la forte croissance du laboratoire et de la mise en place du site unique, et du sous-dimensionnement de l'administration de l'UMR, cette recherche de moyens a considérablement alourdi la charge opérationnelle et fonctionnelle de l'équipe de direction (G. Tayeb, C. Amra). Dans ces conditions, nous avons voulu accroître la participation des personnels au fonctionnement interne de l'Institut. La première étape pour se rapprocher de cet objectif avait été de créer un comité de direction constitué de responsables d'équipe ayant la mémoire de l'ensemble des dossiers internes et externes à l'UMR, enrichi de la présence de 3 jeunes (Enoch, Deumié, Goudail) ayant accepté de s'investir lourdement dans la structure. La deuxième étape a été de créer différentes commissions internes quasi-autonomes, qui ont vu le jour en 2005 et 2006 :

- Commission Informatique (F. Forestier, coordinateur)
- Commission Hygiène et Sécurité (J.M. Geffrin- coordinateur et ACMO)
- Commission Animation Scientifique (A. Sentenac, coordinateur)

Les textes fondateurs et les comptes rendus de ces commissions sont disponibles sur l'intranet Fresnel. On précisera que *l'animation scientifique* a pris une place notable au sein de l'UMR (cafés scientifiques hebdomadaires, séminaires mensuels, journée annuelle des doctorants...voir intranet).

Il faut aussi signaler le dossier lourd assuré par C. Deumié pour la réhabilitation du site unique (chiffrage salle par salle- électricité, plomberie et peintures, suivi des travaux, montage FEDER et lancement d'appel d'offres), et la prise en charge par P. Ferrand de la gestion des bases de données relatives à la production scientifique du laboratoire. Cette liste n'est évidemment pas exhaustive et ne souligne pas la forte implication, depuis la création de l'Institut, de quelques seniors dans l'accompagnement quotidien de l'équipe de direction : UFR SM (UP), UFR UPCAM, Département SM UPCAM, direction de la recherche EGIM, comité national CNRS, pôle de compétitivité « photonique », CIM PACA, projets focalisés, administration et gestion, GDR et Master, Parcours de Génie Disciplinaire EGIM..., *sans oublier la charge extra-lourde du directeur adjoint*. Le travail stratégique assuré par ces collègues est à l'origine de nombre de succès ayant desservi l'ensemble de l'UMR.

XVIII - MODE DE FONCTIONNEMENT INTERNE

XVIII.1. Introduction

Un document spécifique régit le fonctionnement interne de l'unité depuis sa création de fait en 1999. Ce document est accompagné de notes administratives qui sont diffusées et archivées après proposition et approbation par le conseil de laboratoire. De façon plus générale, la totalité des dossiers de l'UMR est discutée au sein d'une *structure de direction* qui se réunit en moyenne tous les 15 jours, et dont le statut évolue en fonction du contexte : Conseil de Laboratoire ou Directoire (identique au Conseil de Laboratoire mais sans le caractère formel 6de 2000 à 2005), Comité de Direction (COMEX) à partir de 2005, puis retour à la formule Conseil de Laboratoire/Directoire en Septembre 2006. Il est à noter que le contenu de ces sessions est consigné, approuvé et diffusé au sein de l'UMR, puis archivé sur l'intranet Fresnel. Toutefois, en ce qui concerne le fonctionnement, la pertinence des procédures consignées trouve sa limitation dans les modifications profondes que nous avons subies ou dont nous avons bénéficié ces dernières années : changements de présidence à l'université de Provence, création de l'UFR unique puis changement de présidence à l'université Paul Cézanne, changements de direction à l'ENSPM, création de l'EGIM puis de l'Ecole Centrale Marseille, réformes du CNRS... Chacune de ces réformes a été accompagnée d'un changement de politique avec de nouvelles procédures, impliquant l'administration et la gestion de l'UMR. On comprendra donc que c'est l'esprit du fonctionnement interne qui est la priorité, ce que nous tentons de résumer ci-après.

XVIII.2. Répartition des Rôles

XVIII.2.1. Direction de l'Institut

Le directeur est responsable administratif et scientifique de l'Institut. L'une de ses missions est de promouvoir l'UMR sur le plan international, sur la base d'une production scientifique innovante. Les responsables d'équipe et le Conseil de Laboratoire l'appuient dans cette démarche. Le directeur peut s'entourer d'un directeur adjoint.

XVIII.2.2. Responsables d'équipe

Les responsables d'équipe ont pour mission de :

- définir la politique scientifique de l'équipe dans un contexte international, en accord avec la politique générale de l'Institut
- élaborer la stratégie pour mettre en œuvre cette politique (moyens financiers, ressources humaines, partenariats...) à moyen (2 ou 3 ans) et long terme
- favoriser l'émergence de jeunes chercheurs ou talents identifiés sur des thématiques porteuses
- assurer un travail stratégique au niveau des commissions et comités, sur les scènes régionale, nationale et internationale
- participer à la diffusion et au partage des connaissances (congrès, publications, cours, maquettes, ouvrages...)

A la discrétion de l'équipe et de son responsable, un co-responsable peut être identifié pour une meilleure efficacité au sein de l'équipe. Son rôle est alors suscité et défini (par et) au sein de l'équipe, en conformité avec le fonctionnement général de l'Institut. De façon plus générale, le label d'équipe est proposé par la direction et approuvé en Conseil de Laboratoire. Les responsables d'équipes sont désignés au sein des équipes et sont ensuite proposés au Conseil de Laboratoire.

XVIII.2.3. Services communs

Les services communs facilitent au quotidien les missions internes des personnels du laboratoire, et garantissent une interface optimale avec le monde extérieur. Le fonctionnement des services communs est régi par des textes fondateurs archivés sur l'intranet Fresnel.

XVIII.2.4. Membres de l'Institut

Les missions des personnels sont spécifiques à leurs statuts :

- Les chercheurs et enseignants-chercheurs rattachés à l'UMR (ainsi que les doctorants et autres chercheurs permanents) assurent, parallèlement à leur mission de formation, une production scientifique de type « chercheur actif », conformément aux textes ministériels.
- Les personnels techniques maintiennent le parc instrumental, informatique et technologique, ou logistique..., et assurent le développement et la promotion des technologies numériques et instrumentales.
- Les personnels administratifs assurent les travaux de gestion, de secrétariat administratif et de secrétariat de direction.

XVIII.3. Procédures administratives

XVIII.3.1. Décisions amont

Tous les dossiers de l'UMR sont présentés au sein d'une structure dirigeante (directoire ou conseil de laboratoire) qui se réunit en moyenne deux fois par mois. Les décisions approuvées par cette structure et la direction sont mises en œuvre par la direction.

XVIII.3.2. Circuit des signatures

La connaissance ou centralisation de l'information est une condition nécessaire à une gestion transparente et concertée de l'Institut. En conséquence de quoi :

- La direction garantit la *redescente* de l'information en signalant ou traitant tous les dossiers de l'UMR au sein de la structure dirigeante (conseil de laboratoire ou directoire -COMEX dans le passé). *Les 6 années de fonctionnement de l'UMR n'ont pas révélé de situation où l'on devait déroger à ce principe.*
- Les contrats et devis, propositions de contrat et réponses aux appels d'offre, demandes de subvention et conventions de collaboration, accords de confidentialité..., sont signés par le directeur de l'Institut. De façon plus générale, les documents officiels émanant de l'Institut vers les tutelles, établissements et collectivités... sont paraphés par la direction.
- L'ensemble des documents remontant des équipes ou de leurs personnels vers la direction, comporte la signature ou le paraphe des acteurs concernés : responsables d'équipe, responsable scientifique, responsable de contrat...
- A réception des contrats, une ligne budgétaire est ouverte après saisie auprès du service gestion de l'UMR (tableau des flux financiers entrants), pour une vision prévisionnelle du budget de l'UMR. La saisie informatique est accompagnée de l'ouverture d'un cahier de commande pour chaque contrat, assurant ainsi la vision temps réel de la trésorerie de l'UMR.
- Toute demande d'achat supérieure à 15k€ est signée par la direction (facilité pour inventaire en temps utile). Ces demandes sont signées ou paraphées au préalable par le responsable d'équipe et le responsable de contrat.

- Toute livraison à un client ou partenaire est accompagnée d'un bon de livraison émis par le service gestion, garantissant ainsi le suivi de facturation
- Les facturations à l'UMR sont honorées après accord du responsable de la demande d'achat
- Les ordres de missions sont paraphés par le responsable d'équipe, avant transmission à la direction. Le remboursement est forfaitaire, en France ou à l'étranger. Le coût de la mission est évalué au préalable, et inscrit sur la ligne budgétaire adéquate comme une commande. Ce coût est ajusté au retour de la mission. Le missionnaire est responsable des démarches complémentaires à effectuer auprès de son établissement de rattachement (aspect pénal).

Chaque fois que les organismes ou établissements de rattachement le permettent, la direction accorde une délégation de signature aux responsables d'équipe. Cette délégation est valable pour les demandes d'achat et les ordres de mission. En accord avec le CNRS (journal officiel), et pour faire face à l'absence de site unique ainsi qu'à une éventuelle absence prolongée de la direction, des délégations de signatures plus larges sont accordées au laboratoire : G. Tayeb (professeur, directeur adjoint, site A), P. Bentoza (AI, gestionnaire) et M. Commandré (professeur, site B).

XVIII.4. Gestion des Flux Financiers

- Les crédits récurrents (CNRS et Ministère) sont fléchés vers les équipes au prorata des effectifs permanents, après prélèvement de 13% par la direction.
- Ces crédits récurrents transitent par les établissements UP et UPCAM, qui prélèvent un BQR de 12%.
- L'UMR applique, chaque fois qu'elle le peut (problèmes de justification), une taxe de 3% sur les flux financiers entrants à l'UMR. Cette taxe est fléchée sur les dépenses d'intérêt collectif, en particulier via les commissions internes à l'UMR.
- Pour chaque contrat/subvention, le responsable d'équipe propose à la direction le choix d'un organisme gestionnaire parmi les tutelles ou établissements de rattachement. Le chiffrage du projet tient compte des taxes différentes taxes connues dans les établissements. Aucune avance de trésorerie n'est demandée aux établissements de rattachement, ce qui requiert un calendrier d'acomptes.
- Les comptes de la direction (flux financiers entrants et sortants), et l'ensemble des documents financiers (tableau général des flux financiers, missions, taxes...) sont disponibles sur l'intranet Fresnel.

XVIII.5. ARTT, congés, primes, personnel entrant

Tout nouvel entrant à l'Institut est déclaré par son responsable d'équipe au service administration (saisie tableau des personnels), avec vérification d'une couverture sécurité (convention d'accueil). Le personnel entrant bénéficie en retour d'une adresse e-mail, après avoir lu et signé les chartes informatiques et de sécurité.

Un document ARTT est disponible sur l'intranet Fresnel, et a été élaboré pour être compatible avec l'ensemble des établissements/organismes. A sa demande, chaque personnel de l'UMR peut signer une convention consignait la répartition/gestion de son temps de travail. Les congés des personnels techniques sont consignés dans un tableau accessible à tous. Le fléchage interne des primes récurrentes (CNRS et établissements) de ces personnels s'effectue chaque année après avoir pris connaissance du tableau résumant le fléchage des années précédentes.

XVIII.6. Hygiène et sécurité

S'il incombe au directeur de veiller à la sécurité et la protection des personnels, et d'assurer la sauvegarde des biens de l'Unité, chacun doit se préoccuper de sa propre sécurité et de celle des autres.

L'ACMO (Agent Chargé de la Mise en Ouvre des règles d'hygiène et de sécurité) assiste et conseille le directeur ; il informe et sensibilise les personnels travaillant dans l'Unité pour la mise en œuvre des consignes d'hygiène et sécurité.

Une commission locale d'hygiène et de sécurité de l'Institut Fresnel (CHSIF) a été créée, sa composition est la suivante :

- le directeur de l'unité (ou son suppléant), président du comité,
- l'ACMO, secrétaire du comité,
- Deux représentants de l'administration,
- un représentant du personnel provenant du collège des personnels chercheurs et enseignants-chercheurs,
- un représentant du personnel provenant du collège ITA/IATOS,
- 1 référent pour les risques liés au vide,
- 1 référent pour les risques liés à la chimie/biologie,
- 1 référent pour les risques électriques,
- 1 référent pour les risques liés à l'utilisation de lasers,
- 1 référent pour la maintenance des bâtiments.

L'identité de l'ACMO et la composition nominale de la CHSIF sont affichés sur l'intranet du laboratoire (et ont été diffusé via les comptes-rendus du Conseil de Laboratoire et de la CHSIF).

Les dispositions à prendre en cas d'accident et d'incendie sont consignées dans le registre de sécurité.

Le registre d'hygiène et de sécurité dans lequel les personnels peuvent consigner leurs observations et suggestions relatives à la prévention des risques et à l'amélioration des conditions de travail est disponible à l'accueil.

L'ACMO et les référents fournissent aux personnels, dès leur arrivée, la formation et les informations nécessaires à l'accomplissement de leur travail et au respect des consignes générales de sécurité (leurs comptes informatiques ne sont ouverts qu'après signatures du formulaire validant leur passage au près des référents).

Il est interdit aux personnels de fumer sur les lieux de travail.

Tous les locaux présentant un risque particulier (chimique, biologique, rayonnement, laser...) font l'objet d'une signalétique particulière.

**Un document plus complet sera bientôt disponible sur l'intranet Fresnel. On trouvera également en page suivante un bilan des risques et accidents survenus dans l'UMR.*

XVIII.7. Quelques Rendez-Vous annuels

Le calendrier qui suit est approximatif, et a pour seul but de sensibiliser les personnels sur l'ensemble des dossiers récurrents à traiter.

XVIII.7.1. Septembre-Décembre

- Master Recherche : démarrage des modules pédagogiques (dont emploi du temps)
- Labintel : demande de moyens
- Dossiers carrière ITA et concours
- Primes ITA/IATOS
- Dossiers pour la qualification CNU (Antarès)
- Concours CNRS chercheurs : dossiers

XVIII.7.2. Janvier-Mars

- Journée des doctorants (Fresnel)
- Sujets de thèses : à prioriser en CL, sur la base des effectifs en doctorants présents dans les équipes. Une liste de sujets de thèses, complète et priorisée par équipe et dans Fresnel, est établie de façon définitive avant d'élaborer une stratégie pour la recherche de financements (bourses CNRS, Région, Industries, Ecole Doctorale, DGA, CNES, ONERA, CIFRE...) et de candidats
- Stages de Master recherche : à harmoniser avec la politique des thèses, et le souhait des étudiants
- Bourses de thèse (ED, DGA, CNES, ONERA, CNRS, Région...): premières demandes à renseigner et soumettre

NB : Des contrats CIFRE peuvent être proposés en cours d'année ; le délai de réponse ANRT est de deux mois.

XVIII.7.3. Mars-Juillet

- Campagne de recrutement auprès des établissements
- Compléments de dossiers pour certains types de bourses (Région/Entreprises, Région, Région/organismes...)
- Mise à jour et transmission de la liste des bourses de thèse demandées à l'Ecole Doctorale, tenant compte des données acquises (résultats DGA, CNES, CNRS...)
- Délibération de l'Ecole Doctorale pour l'attribution des bourses ministérielles

XVIII.7.4. Autres

Appels d'offre ANR, Appel à projet Pôle de Compétitivité, Appel à projets Région et Conseil Général, demandes de BQR, Accueil jeunes chercheurs de la Ville de Marseille, Doctoriales, Journées des Doctorants, Fête de la Science, Appel à projet PRCD...

XIX - RAPPORT HYGIENE ET SECURITE

On pourra trouver les comptes rendus de la CHS en ligne sur l'intranet Fresnel, ainsi que la charte associée à la sécurité.

XIX.1. Bilan des accidents et incidents survenus dans l'unité et mesures prises

- Le 10/06/04 : Eclatement d'un tube en verre et projection d'une poussière dans l'œil droit de Julie Desrousseau. Après examen médical, rien de grave à l'œil droit.
- Le 05/06/05 : Après une semaine de crises d'allergie très fortes, Philippe Réfrégier demande que la nature des matériaux de panneaux ressemblant à de la laine de verre soit analysée.
- Le 26/04/06 : 2 membres du laboratoire (M. Rauzi et P.-F. Lenne) ont été victimes de l'explosion d'une lampe à vapeur de mercure haute pression, en fonctionnement. M. Rauzi et P.-F. Lenne étaient en train de réaliser un réglage optique d'un élément placé à 50 cm de la lampe ; ils ont donc inhalés des vapeurs toxiques. Les deux chercheurs ont quitté la pièce immédiatement après l'explosion. Après quelques minutes, P.-F. Lenne (en apnée) est entré à nouveau dans la pièce pour ouvrir toutes les fenêtres. Une heure après l'explosion, M. Rauzi a ressenti un goût amer et métallique sur la langue. M. Rauzi et P.-F. Lenne ont déclaré leur accident à la médecine du travail du CNRS, et ont effectué les analyses nécessaires après ce genre d'accident (radiographie des poumons, analyses urinaire et sanguine). Le cas de M. Rauzi nécessitera un examen ultérieur.
- Les jours de pluie, fuites d'eau provenant du plafond du couloir 161 et ruisselant notamment sur des tubes néon signalées aux services techniques de l'université et mentionnées dans le logiciel approprié.

XIX.2. Identification et analyse des risques spécifiques rencontrés dans l'unité

- Lasers : Brûlures, Yeux, Electricité
- Vide : Chimie, Electricité (hautes tensions), Rayonnements (X et UV)
- Chimie/Biologie : Stockage, Elimination, Lecture des étiquettes
- Electricité : Problèmes classiques plus une mise en conformité effectuée mais pas validée.
- Incendie : La « propriété » du bâtiment principal de l'Institut Fresnel qui n'est plus clairement définie entre EGIM et UPCAM est insatisfaisante, par exemple pour l'alarme incendie nous ne disposons d'aucune documentation et d'aucune personne compétente.
- Machines outils : Tour, fraiseuses, et autre équipements nécessaires à notre atelier mécanique
- Réaménagement divers : Les réaménagements du bâtiment préalablement également utilisé pour des enseignements nécessite de nombreux travaux faisant notamment appel à des entreprises extérieures.

XIX.3. Disposition mises en œuvre en fonction des risques. Priorités retenues

- Lasers : Recensement des équipements et des dispositifs de protections associés
- Chimie/Biologie : Elimination des déchets par les filières de l'université
- Machine outils : mise en conformité effectuée.

Priorité numéro 1 : dissiper le flou sur la « propriété » du bâtiment pour pouvoir résoudre au plus vite les problèmes d'incendie et de maintenance des équipements afférents au « propriétaire » du bâtiment tels que les extincteurs, l'électricité, les ascenseurs, ... puis uniformisation des diverses clefs du bâtiment, et autres tâches précédemment mentionnées.

XIX.4. Fonctionnement des structures d'hygiène et de sécurité

- Changement d'ACMO : Michel Cathelineau remplacé par J-M Geffrin
- Création d'un comité spécial d'hygiène et de sécurité, Président Claude Amra, suppléant H. Giovannini
- Nomination de « personnes compétentes » pour les différents types de risques Lasers (Laurent Gallais), Vide (Luc Roussel), Chimie/Biologie (Pierre-François Lenne), Electricité (Alexandre Hatchikian).

XIX.5. Dispositions mises en œuvre pour la formation des personnels et notamment des nouveaux entrants

Les « personnes compétentes » assureront la formation des nouveaux entrants dans leurs domaines respectifs et se proposent également de former les personnels susceptibles de circuler des locaux « sensibles » comme les informaticiens, électriciens, administratifs et toute autre personne en faisant la demande.

XIX.6. Problèmes de sécurité qui subsistent et moyens envisagés pour les résoudre

- Faire assurer les maintenances réglementaires par le « propriétaire » du bâtiment ou les faire à la charge de l'Institut Fresnel.
- Choisir et former un ou plusieurs responsables de l'alarme incendie (en interne ou en externe).
- Chimie/biologie : Achat d'une armoire ventilée.
- Vide : Mettre en conformité les équipements de couches minces

XX - CONSEIL DE LABORATOIRE

Depuis sa création en 1999, l'UMR a fonctionné sur la base d'un *Conseil de Laboratoire* (C.L.) qui se réunissait régulièrement (en moyenne 2 fois /mois) sous la forme d'un *Directoire* (session de travail du CL), ce qui permettait de réduire le caractère formel du CL (convocations, délais et ordre du jour) pour optimiser le côté opérationnel (réactivité et interactivité). A partir de 2005, ce directoire a été remplacé par un *Comité Exécutif* (COMEX) rassemblant les 7 chefs d'équipe et 3 jeunes (invités permanents) ayant accepté de s'investir lourdement dans la structure. La création du COMEX a permis de se rapprocher d'un meilleur équilibre devoir↔pouvoir, compte tenu des absences croissantes aux sessions de directoire, d'une connaissance imparfaite des dossiers et de l'aide recherchée pour réduire la charge de l'équipe de direction. Les compositions du Directoire et du COMEX sont données ci-dessous.

Elus	Nommés	Membre de droit
G. Albrand	G. Tayeb	C. Amra
P. Bentoza	M. Saillard	
P. Voarino	P. Réfrégier	
S. Enoch	S. Bourennane	
L. Escoubas	H. Rigneault	
H. Tortel	M. Commandré	
H. Akhouayri	M. Lequime	
D. Maystre		

Composition du Directoire ou Conseil de Laboratoire de 1999 à 2005.

**On trouvera en grisé les noms des collègues ayant quitté le CL (mutations et retraites...) avant la fin de leur mandat*

Equipe	Membre
CLARTE	Tayeb
MAP2	Commandré
PHYTI	Réfrégier
MOSAIC	Rigneault
SEMO	Giovannini
RCMO	Lequime
GSM	Bourennane
Invité permanent	Enoch
Invité permanent	Deumié
Invité permanent	Goudail

Composition du COMEX de 2005 à Avril 2006

Cependant, le succès de ce COMEX a eu pour conséquence de minimiser le rôle du Conseil de Laboratoire, dont l'intersection avec le COMEX était de *9 membres sur 13*, compte tenu des 3 collègues partis à la retraite et non ré-élus (Albrand, Saillard et Voarino). C'est ainsi qu'une requête a été émise en Mai 2006 pour redonner sa place au Conseil de Laboratoire et revenir au « mode Directoire ». Le nouveau Conseil a été créé

en Juin/Juillet 2006, et l'on en trouvera la composition dans les tableaux ci-dessous, en regard de la représentativité des différentes composantes. Ce Conseil rassemble 9 élus et 7 nommés, en plus de 2 membres de droit. Sous une autre forme, il rassemble 7 collèges A, 7 collèges B et 3 collèges C.

Membres élus	Collège
Lequime M.	A
Natoli J.Y.	A
Monneret S.	B
Tortel H.	B
Simon J.J.	B
Renversez G.	B
Forestier F.	C
Geffrin J.M.	C
Mangeat T.	Doctorants

Membres nommés	collège
Galland F.	B
Bentoza P.	C
Commandré M.	A
Bourennane S.	A
Sentenac A.	B
Nicolet A.	A
Enoch S.	B

membres de droit	
Amra C.	direction
Tayeb G.*	direction adjointe

Conseil de laboratoire créé en Juin/Juillet 2006

Equipe	Effectifs	nombre de sièges
CLARTE	16,5	4
MAP2	8,3	2
PHYTI	5	1
MOSAIC	5	1
SEMO	11,3	2
RCMO	6	1
GSM	6	1
thématique O.I.	4	1
services communs	8,7	2

*Représentativité des effectifs au CL, à la date de création/élection
et sur la base des listes électorales*

Enfin, ce premier Conseil s'est réuni avant l'été 2006 pour proposer un directeur (H. Giovannini, candidat unique) pour le prochain quadriennal (08-12) de l'Institut. H. Giovannini a été ainsi nommé directeur adjoint de l'Institut en Novembre 06, ce qui lui permet de *se saisir de l'ensemble des dossiers* avant sa prise de fonction au 01/01/08. Cette procédure a été rendue possible grâce à la proposition (spontanée) de démission de G. Tayeb dans cette fonction. Le PV du Conseil de Laboratoire est consigné ci-dessous. On terminera en précisant que G. Tayeb est invité permanent au nouveau Conseil de Laboratoire, compte tenu de son rôle au sein de l'UFR Paul Cézanne.

INSTITUT FRESNEL MARSEILLE
Sciences et Technologies de
l'Optique, l'Électromagnétisme et l'Image
Procès Verbal
du conseil de laboratoire du 12 juillet 2006

Conseil de laboratoire du 12 Juillet 2006

Lieu : salle P. Cotton, Institut Fresnel

Horaire : 16h10-17h35

Présents (membres du CL): M. Commandré, T. Mangeat, S. Bourennane, G. Renversez, S. Monneret, P. Bentoza, C. Amra, G. Tayeb, J.Y. Natoli, F. Galland, J.J. Simon, H. Tortel, F. Forestier, M. Lequime

Membres absents ayant donné procuration: A. Sentenac, S. Enoch, J.M. Geffrin, A. Nicolet

Invité: H. Giovannini

Rédacteur: G. Renversez avec des corrections de G. Tayeb, H. Tortel, J.J. Simon, et C. Amra

Diffusion courriel: 28 juillet 2006, rappel le 1 septembre 2006, version corrigée diffusée le 15 septembre 2006

1- Déroulement

CA rappelle :

- la procédure de vote pour l'élection du futur directeur du laboratoire (notamment vote à bulletin secret et utilisation d'un isoloir)
- son souhait de voir le futur directeur être élu à l'unanimité

CA rappelle l'ordre du jour:

- examen des candidatures
- proposition d'un directeur pour le nouveau quadriennal

CA rappelle que :

- la proposition du CL doit ensuite être entérinée par l'UPCAM et par le CNRS
- les votes possibles sont: OUI/NON/blanc
- la question est: Etes-vous pour proposer Hugues Giovannini en tant que futur directeur de l'Institut Fresnel?

HG déclare que s'il est élu il demandera un allègement de son service à l'IUT et qu'il compte s'initier à la direction de l'Institut à partir de fin 2006.

CA rappelle:

- le rôle essentiel tenu par GT en tant que directeur adjoint
- le déroulement du passage de témoin devant se dérouler avant janvier 2008
- un des éléments serait que HG soit dans un premier temps invité permanent au CL

CA demande si quelqu'un a des questions relatives au candidat à la direction du laboratoire. Pas de question. CA fait débiter la procédure de vote (16h40-16h53).

Il y a 14 votants et 4 procurations. Les résultats sont: 14 OUI, 4 BLANCS. Hugues Giovannini sera donc proposé par le conseil de laboratoire comme futur directeur de notre laboratoire

I.2 Acronymes utilisés

CA: Claude Amra

GT: Gérard Tayeb

HG: Hugues Giovannini

XXI - DOCUMENTS DISPONIBLES SUR L'INTRANET FRESNEL

- Tableau des flux financiers entrants
- Comptes de la direction : flux entrants et sortants
- Tableau des taxes (3%) internes : flux entrants et sortants
- Tableau des missions
- Tableau des personnels
- Tableau de PEDR
- Tableau des directions de thèse (% d'encadrement)
- Notes administratives
- PV des conseils de laboratoire, COMEX et Directoires...
- Textes fondateurs et comptes rendus des Commissions Internes
- Rapport Hygiène et sécurité
- Production scientifique
- Etc...

Deux autres sites Web ont également été créés pour le GIS « Photonique et Instrumentation Avancée », et pour le Master Recherche spécialité « Optique et Traitement des Images ».

XXII - CONCLUSION ET PERSPECTIVES GENERALES

L'introduction en début de ce document a déjà permis de souligner les succès de l'Institut : production scientifique et financière, recherche académique et partenariale, accroissement des effectifs CNRS (chercheurs et ITA), confortation des effectifs en 61/07, recrutement de personnels techniques pour les expérimentateurs, dimensionnement des services communs, création de commissions internes (informatique, CHS et animation scientifique), gestion des carrières (chercheurs et ITA), mise en place de l'intranet, site unique et GIS Photonique, pôles de compétitivité... Les actions de « communication » se sont récemment accrues, si l'on en juge des interviews récemment données par S. Enoch dans différents médias (TF1, Le Figaro, France Info, Europe 1...), actions dont nous manquons sensiblement. Certains dossiers sont en cours mais devraient déboucher avant l'année 2008, comme le *site unique* et le *label Carnot*, ou le *Master Recherche*. Par ailleurs, nous attendons beaucoup de la création de l'« Espace photonique » inscrit dans le Contrat de Plan Etat-Région (CPER 07-13).

XXII.1. Site unique

Après avoir obtenu l'accord du rectorat en Juillet 2005, la première étape de ce dossier a été de flécher ou re-flécher l'ensemble des personnels et expérimentations sur les différents bureaux, TP et salles de cours... du bâtiment ENSPM (ex-EGIM Nord). La deuxième étape a consisté à prévoir la rénovation du bâtiment étage par étage, ou salle par salle, via des permutations permettant de ne gêner aucun chercheur à aucun moment. Par ailleurs, la géographie du bâtiment a été pensée pour une optimisation du fonctionnement des équipes déjà hébergées ou à accueillir (CLARTE/SEMO)... On trouvera ci-après le plan de réhabilitation finalisé, avec un personnel par bureau. Notons qu'avec un personnel par bureau, il ne reste quasiment plus de place disponible sur ce nouveau site, ce qui nous a motivés pour la création d'un Espace Photonique (paragraphe suivant).

La recherche de financements a ensuite permis d'aboutir au résultat suivant :

- 40k€ HT CNRS
- 100k€ HT CNRS
- 40k€ HT (UPCAM- FST)
- 60k€ TTC (UPCAM- présidence)
- 40k€ TTC (Ville de Marseille)
- 15k€ TTC (UP- présidence)
- 80k€ HT (fonds propres Fresnel- proposés par M. Commandré sur crédits MAP2)

Ce plan de financement rassemble ainsi une somme de 357k€ HT. Les premiers travaux ont concerné la rénovation du rez-de-chaussée, opération réalisée par l'UMR en 6 semaines (Août-Septembre 2005), avec déplacement de nombreuses expériences. La suite des opérations, déléguée aux établissements, a par contre été considérablement retardée par les procédures administratives et autres (procédures d'appel d'offres, non disponibilité des services, convention pour transfert des lignes disponibles sur un seul établissement, dossier FEDER à la demande du rectorat...). L'appel d'offres vient finalement d'être lancé au moment où la rédaction de ce document se termine, pour une finalisation prévue avant l'été 2007.

OUES													EST										
3em	334	334	332	332	330	330	328	326	324	322	320		314a	314	310	308a	306		304				
	Popo	Doct. CLART	Doct. CLART	stagiaire CLART	stagiaire CLART	invité CLART	Foreste	Bibliothèque archive	Imprimant photocopie fax	Guennea	Réunion CLART		Sabourou	Doct. SEM	Hugoune	Belkebi	SEM	Sorian	Doct. SEM	Stagiaire SEM	Stagiaire SEM		
	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	CLART CLART	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM	SEM SEM		
	Stout	Zoll	Nevier	Chaum	Vincen	Maystr	Taye	Enoc	Renvers	Grala	Fehremba	Maille	Brain	Senten	Giovanin	Invité SEM	Torte	Litma	Saillar	Guéri	Nicole	Geffri	
	341	339	337	335a	333a		331		329	327	325a		323	321	319	317	315	313	311	309	307	305	303

2em	238	236	234		232	230	228	226	222	222	220	220	214	214	212	210	208		206	204	202		
	Réunion GSM	Doct. GSM	informatique GSM		Doct. GSM	Invité GSM	Manip RCM	thésards RCM	stagiaire RCM	Microelectronique		Akhouay	Gallai	MCF MAP2/CO	Invités	salle info CD + archive	informatique PHYT		Réunion PHYT	Doct. PHYT	Doct. PHYT		
	GSM GSM	GSM GSM	GSM GSM	GSM GSM	GSM GSM	GSM RCM	RCM RCM	RCM RCM	MAP	GSM	MAP	MAP	MAP	MAP	MAP	PHYT PHYT	PHYT PHYT	PHYT PHYT	PHYT PHYT	PHYT PHYT	PHYT PHYT		
	Gaido	Bourenna	Guillaum	Adel	MCF EGI microel	Stagiaire RCM	Lemarqui	Lemarcha	Derrod	Fossat	Natol	Doct	serveur informatiq	Café - stormin	Agent servic	Wagne	Réunion MAP	Réfrégi	Invités PHYT	Bertau	MCF U3	Gouda	Roch
	241	239	237	235	233	233	229		227	227	225	225	223	221	219	217	215	213	211	209	207	205	203

1er	134	134	132	132		130	128		122	120	120	120	114		112	108		106		102			
	m-	capteur	CAR 1.5	non 1.5		mini Lequim	plateform micro-		manip	Réunion RCM	Lequim	Veece MAP RCM	BAK		Spectr	BAK 800 et		Diffusio		Diffusio			
	CO CO	CO CO	CO CO	MAP CO	MAP CO	RCM CO	CO COM	CO RCM	CO RCM	RCM RCM	RCM RCM	MAP RCM	RCM RCM	RCM RCM	RCM MAP	RCM MAP	RCM RCM	MAP MAP	MAP MAP	MAP MAP			
	Bittebierr	Escouba	Torchi	Flory	pince optique	Simo	Stagiaire CO	Invités RCM	Invités RCM	stockag	RCM/CO MAP	sabierus	Café - brain	Abel	Cathelina	Amr	Command	Deurni	Koc	Doct.	Phot thermie	Phot thermie	
	143	141	139	137	135	133	131	129	127	125	125	125	123	121	119	117	115	113	111	109	107	105	103

RD	038	036	034	032	030	028	026	024	22c	22a	022	020	012	010c	010	010	010	008	006	004	002	
	Manip + atelier SEM			MAP2		MAP2 Hz		Stagiaire MAP	Rigneau	microscopi		Doct. MOSAI		Stefannin Marti		010 bibliothéq		Photocopi Fax		réunion	CRI	(Stations travail)
	SEM CO	SEM SEM	SEM SEM	MAP CO	MAP CO	MAP2 CO	MAP CO	CO	CO	CO CO	CO CO	CO										
		Manip		Stagiaire MOSAI	Doct MOSAI	Réunion MOSAI		Monner	Ferran	Wengue	Lenn	Spinelli	Loca									
	039	037	035	033	031	029	029	027	025	023	023	021	019	017	015	013	009	007	005	003		

Sous sol	WC		Cuisine	Salle de conférences

	GSM	S. Bourennane	lavande	12
	MAP2	M. Commandré	turquoise	27
	RCMO	M. Lequime	vert brillant	22+DIBS
	PHYTI	P. Refregier	brun	12
	COM	H. Rigneault	jaune	25
	CLARTE		vert clair	24
	SEMO		gris-25	23
	Général		rose	

Réhabilitation du site unique (1 couleur par équipe)

XXII.2. Espace Photonique

Le schéma ci-dessous illustre le projet de création d'espace photonique (7 M€ demandés au CPER), qui doit permettre :

- d'ancrer définitivement l'UMR sur le campus Nord
- de libérer nombre de bureaux dans le bâtiment en cours de réhabilitation, pour une croissance à 15 ans
- de rassembler l'ensemble des technologies et expérimentations de l'UMR en salle grise, pour une meilleure vitrine et lisibilité, et une logistique optimisée

Rappelons que cet espace serait installé à proximité immédiate de l'UMR (10 mètres), dans un atelier sous-utilisé depuis toujours. Enfin, un projet scientifique COPA (« composants optiques à performances augmentées ») est associé à la création de cet espace photonique, pour un coût de 6,5 M€ d'équipements (demandés au CPER).

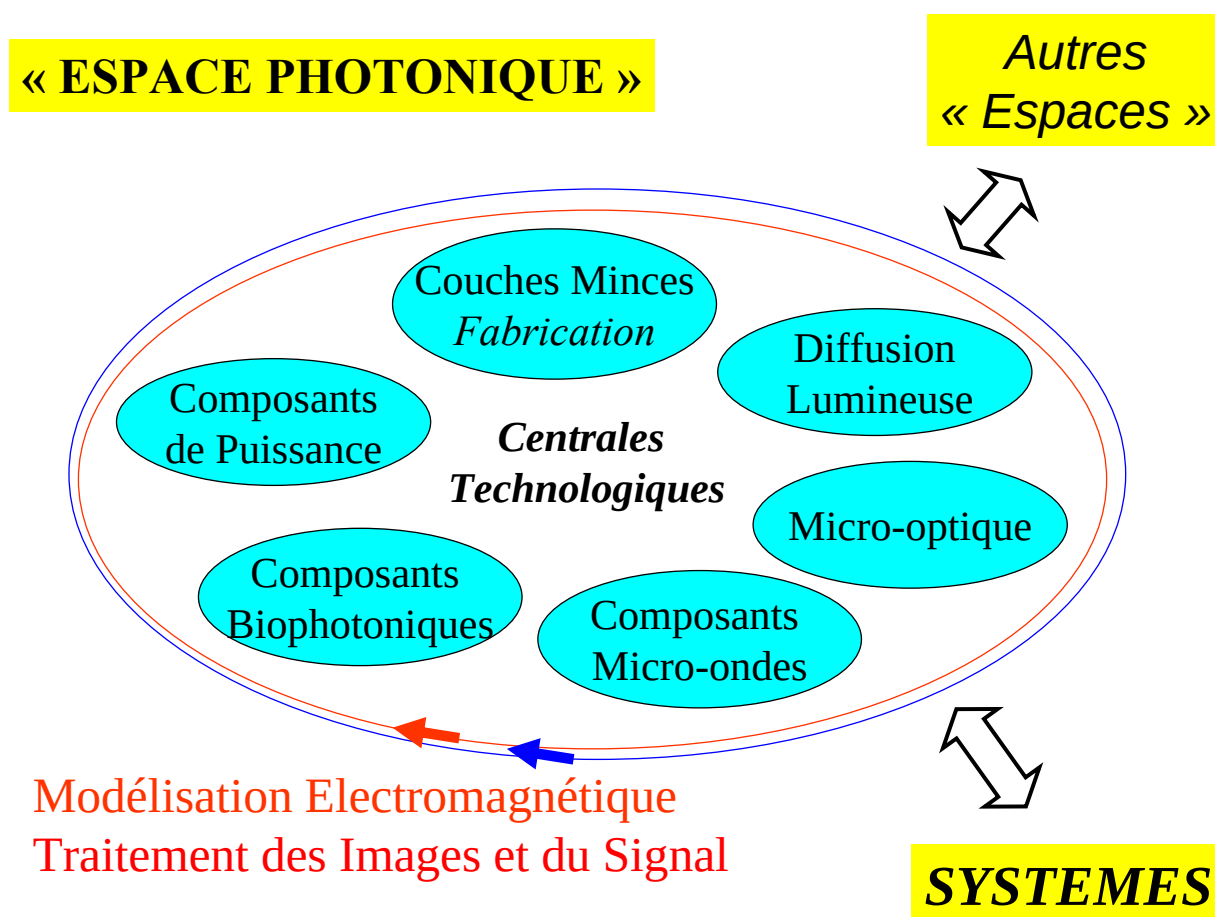


Schéma symbolique du projet d'« Espace Photonique »

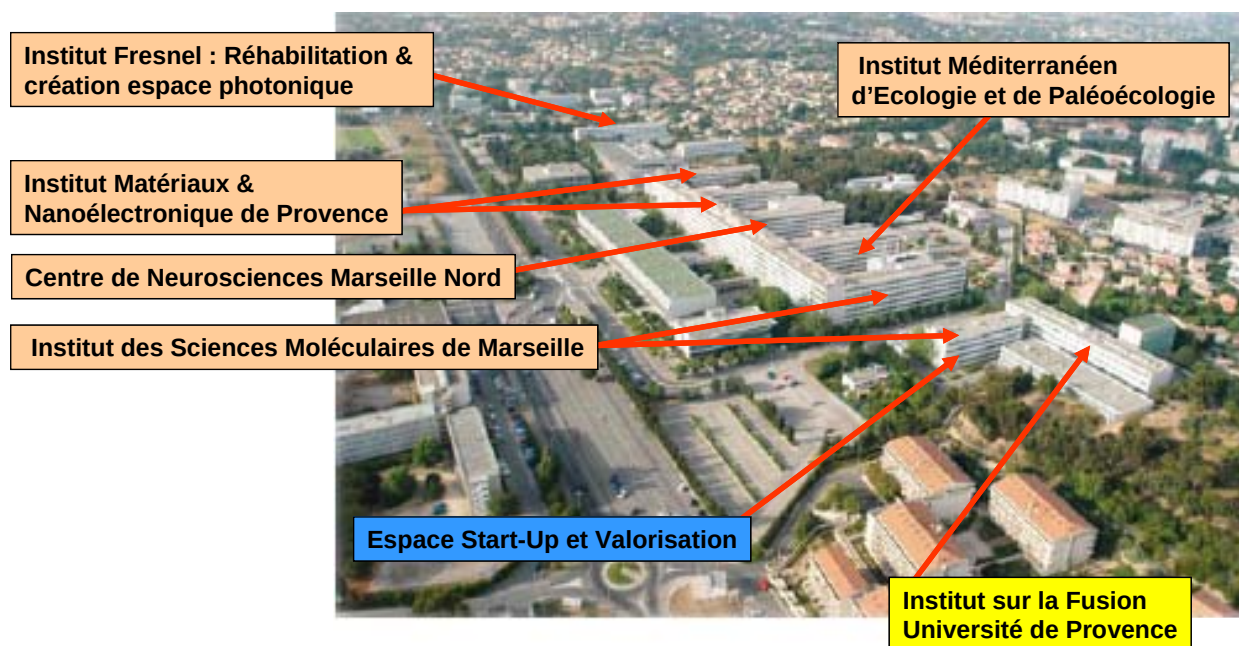
Le schéma ci-dessous est donné pour une lisibilité plus globale sur le campus de St Jérôme, et confirme le soutien de l'UPCAM au niveau du contrat de plan Etat Région (07-13).



UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX MARSEILLE III

CPER 2007-2013

Structuration du Pôle de l'Etoile Campus Scientifique de St Jérôme



Inscription des projets Fresnel au CPER de l'UPCAM (13M€)

XXII.3. Label Carnot

La création du « GIS Photonique » nous conduit naturellement aujourd'hui, et comme annoncé à sa création en octobre 2005, à porter la candidature du GIS au label Carnot (clôture le 20/12/06). On trouvera ci-après le *résumé provisoire* du projet d'Institut PHOTIS.

Déclaration de candidature

L'Institut Fresnel (UMR 6133), le Laboratoire d'AstroPhysique de Marseille (LAM, UMR 6110) et le Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques (LP3, UMR 6182) portent une candidature conjointe au Label Carnot, sous l'appellation « Institut PHOTIS ». Ces 3 laboratoires sont déjà fédérés depuis Octobre 2005 au sein d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (G.I.S.) intitulé « Photonique et Instrumentation Avancée » (P.I.A.), et labellisé par 3 départements du CNRS et les 4 établissements marseillais.

Motivation

Le GIS P.I.A. rassemble de façon opérationnelle la quasi-totalité de la photonique académique sur Marseille, avec une forte visibilité nationale et européenne. Fort d'une tradition (15 années) de collaboration entre les laboratoires fondateurs, et de 5 projets partenariaux déjà portés et financés depuis sa création en 2005, le GIS P.I.A. souhaite renforcer et élargir ses collaborations avec le monde industriel (près de 40 partenaires à ce jour), dont les 5 start-up qu'il a générées depuis 2001.

Thématiques

La photonique est le cœur de métier du GIS PIA, qui peut se décliner comme suit :

- Composants Photoniques
- Procédés Laser et Techniques du Vide
- Instrumentation Complexe

Cette « déclinaison » permet de concevoir les fonctions optiques du futur, de fabriquer et caractériser ces fonctions, avant de les intégrer dans des systèmes complexes. L'institut PHOTIS apparaît ainsi comme un candidat à un Carnot « thématique ». Le caractère diffusant de la photonique amène naturellement le GIS PIA à s'impliquer dans différents secteurs allant de la santé à la défense, les télécommunications ou la cosmétique, la microélectronique ou la télédétection, le spatial et l'éclairage, l'avionique et l'automobile...

« Dimensions » de la structure candidate

Le GIS PIA rassemble au quotidien 280 personnels, dont 114 chercheurs et enseignants-chercheurs, 86 personnels techniques ITA/IATOS et 80 doctorants et post-doctorants. Le chiffre d'affaires (hors salaires) sur le quadriennal 03-06 approche les 25M€, ce qui traduit une expérience avérée de la recherche partenariale. Les laboratoires fondateurs du GIS sont hébergés dans 3 bâtiments dévolus à leurs activités de recherche.

Visibilité « académique » de la structure candidate

Depuis l'année 2000, les chercheurs du GIS PIA ont bénéficié de plusieurs distinctions dont :

- 1 médaille Deslandres de l'Académie des Sciences
- 1 médaille Blondel
- 2 médailles de Bronze CNRS
- 1 Fellow de la Société Américaine d'Optique
- 2 prix du festival interdisciplinaire de la Ville de Marseille...

Les laboratoires fondateurs du GIS PIA accueillent également en leur sein 2 présidents de la Société Française d'Optique, 2 Topical Editors (Applied Optics et Physical Review), un directeur du GDR Ondes (1000 personnes)... Les activités du GIS ont donné lieu, en Juillet, Août et Septembre 2006, à 3 articles phare dans les revues Physical Review (couverture), Science, et La Recherche. Ces articles ont été relayés par de nombreuses interview dans des media de masse (TF1, Le Figaro, France Info, Europe 1...). Plus de 500 publications ont été émises par le GIS PIA au cours de la période 03-06, dans des revues internationales à comité de lecture.

Visibilité « partenariale » de la structure candidate

2 laboratoires du GIS PIA (Institut Fresnel et LP3) sont issus du département Sciences pour l'Ingénieur du CNRS, qui leur confère une longue tradition de la recherche partenariale. Parallèlement, le troisième laboratoire fondateur (LAM) du secteur SDU, joue traditionnellement le rôle de donneur d'ordre auprès du monde industriel, dans la mesure où les grands projets d'astronomie lui sont confiés par les agences comme l'ESO, l'ESA ou le CNES... Le GIS PIA collabore ainsi étroitement avec l'ensemble des industriels et organismes européens (près d'une quarantaine de partenaires) relevant de différents secteurs applicatifs, ce qui l'a amené à réaliser un chiffre d'affaires (hors salaire) de l'ordre de 20M€ sur la période quadriennale 03-06. Il est intéressant de préciser que le ressourcement académique (actions recherche amont ou à risques sur fonds propres) est pratiqué depuis toujours par les laboratoires du GIS PIA. On notera que 5 start-up ont été générées dans ce contexte ces 6 dernières années, toutes d'actualité à ce jour.

Enfin, le GIS PIA s'appuie sur 3 pôles de compétitivité dont il est co-fondateur ou membre des différentes instances consultatives ou décisionnelles :

- Systèmes Complexes d'Optique et d'Imagerie
- Energie (ITER)
- Systèmes Communicants Sécurisés

Gouvernance et Qualité, Veille Technologique, Valorisation

La gouvernance de l'Institut Carnot (PHOTIS) auquel candidate le GIS PIA pourra s'appuyer directement sur celle mise en œuvre pour le GIS PIA, qui bénéficie d'une année de fonctionnement. Le caractère exécutif sera accru par un mode opératoire direct piloté par le directeur de l'Institut Carnot, sous contrôle du Conseil d'Administration. Une cellule de veille technologique sera mise en œuvre par le Conseil Scientifique, qui aura également à charge de proposer l'arbitrage des abondements.

La gestion, le suivi des actions, la communication et le développement de l'Institut sera mis en œuvre et coordonné par un service qualité sous la responsabilité d'un chef de projet. La mise en action des procédures qualité pourra bénéficier de l'expérience du LAM dont les activités spatiales sont depuis toujours, indissociables de l'aspect qualité.

Enfin, l'Institut PHOTIS s'appuiera sur les cellules de valorisation et financières du CNRS et des quatre Etablissements d'Aix- Marseille, ainsi que sur le réseau d'entreprises partenaires.

En conclusion, les thématiques couvertes par l'Institut PHOTIS relèvent des domaines de l'optique et de la photonique, qui constituent des éléments clefs des progrès de l'économie mondiale, en particulier de celle des pays développés, en ce début de XXIème siècle. Elles porteront essentiellement sur les nouvelles fonctions optiques et les nouveaux composants, les nouveaux procédés photoniques et les outils optiques, et la préparation de l'instrumentation du futur. Marseille est bien positionnée pour relever ce défi, si l'on en juge des conclusions du comité d'orientation stratégique à l'issue de l'expertise demandée par les universités marseillaises sur le tissu scientifique de la ville : « *On constate ces dernières années une forte montée en puissance de la visibilité de la photonique et l'optique, qui a probablement pris son essor avec la création de l'Institut Fresnel qui en constitue le noyau... Niveau scientifique élevé- L'optique et la Photonique à Marseille se portent bien* ».

XXII.4. Master recherche

La maquette 08-12 du Master Recherche spécialité « Optique et Traitement des Images » (O.T.I.) dont se nourrit en priorité le laboratoire, devrait s'appuyer sur le GIS Photonique. Ceci permettra d'étendre la mutualisation concernant les aspects recherche, aux aspects de type formation. Une *concertation globale* est cependant souhaitable dans le contexte marseillais, compte tenu de l'existence du Master Professionnel (IOL) nouvellement créé, et du cursus Europtix élaboré lors de la bulle télécom. Précisons que le Master OTI date de plus d'une vingtaine d'années, avec pour adossement différents laboratoires dont les UMR fondatrices du GIS Photonique et Instrumentation Avancée (LAM/Fresnel/LP3). D'un point de vue *opérationnel*, ce master a toujours été porté par les enseignants-chercheurs de l'ENSPM/EGIM, source majoritaire des étudiants inscrits en Master. Enfin, l'Institut a toujours été, compte tenu de ses effectifs dans la discipline Optique et Image, du nombre de doctorants associés et de ses partenaires sociaux-économiques du domaine, l'acteur majeur de ce Master.

XXII.5. Faiblesses de l'UMR, ou le contexte inter-Etablissement

A la demande des 3 universités marseillaises, une expertise générale a été effectuée en 2006 sur l'ensemble du tissu scientifique de la ville. Le constat relatif à la photonique est consigné dans le rapport de ce Comité d'Orientation Stratégique comme : « *On constate ces dernières années une forte montée en puissance de la visibilité de la photonique et l'optique, qui a probablement pris son essor avec la création de l'Institut Fresnel qui en constitue le noyau... Niveau scientifique élevé- L'optique et la Photonique à Marseille se portent bien* ». Du point de vue du mode de fonctionnement interne, on a également vu que la *quasi-totalité des requêtes de recrutement ou bourses de thèse ont été satisfaites*. Ce constat ne doit cependant pas passer sous silence un *certain nombre de faiblesses* ou difficultés, internes ou externes à l'Institut, qu'il est utile de souligner pour mieux préparer le futur :

- Le contexte inter-établissements est le premier frein à une politique scientifique de haut niveau, et au développement d'un site photonique visible à l'échelle européenne. Les requêtes de rattachement principal, ou d'exclusivité de gestion et propriété intellectuelle..., sont une première difficulté, à laquelle s'ajoutent les contraintes géopolitiques (disciplines en fonction du site). Le même contexte (4 établissements de rattachement) accroît le nombre de réunions d'un facteur nettement supérieur au nombre d'établissements... De surcroît, les campagnes de recrutement s'avèrent complexes, puisqu'il faut harmoniser la politique de l'UMR aux priorités des établissements (à moins de soumettre le même poste aux différents établissements...) dont on ne connaît pas l'issue. Dans ce domaine, *on peut être malgré tout optimiste en regard des efforts entrepris par les universités pour la création de l'inter-U, et dans le projet de PRES*.
- La création de l'EGIM (récemment Ecole Centrale Marseille) a été un projet fortement soutenu par nombre d'acteurs, dont l'UMR en premier lieu (une large majorité des enseignants d'ECM effectuent leur recherche à Fresnel), qui est par ailleurs *le seul laboratoire rattaché à l'ECM*. Toutefois si Centrale Marseille est un succès politique pour la ville, *il doit aussi devenir un succès opérationnel*. Dans l'état actuel des choses, on ne peut que retenir, pour l'aspect recherche, un risque de fracture du tissu scientifique de la ville, compte tenu des tentatives de délocalisation (et des revendications de rattachement principal) des équipes de l'UMR sur le site du Technopôle, au moment même où l'UMR bénéficiait d'un site unique sur le campus de Marseille Nord (St Jérôme). On peut considérer sur ce dossier que la communication en cours sur *le site de l'Etoile* (Technopôle + Campus Nord) *soit l'élément pacificateur attendu*. Enfin, le problème de la perte d'effectifs en étudiants à la création de l'ECM (fusion de 3 écoles pour accueillir des effectifs équivalents à ceux d'une seule école, soit 150 élèves avec 11 axes pédagogiques) pourrait être résolu d'ici 2010, où 500 élèves sont attendus.

- Le déménagement de l'EGIM sur le site de Château-Gombert s'est réalisé sans concertation avec l'Institut, en dépit des nombreuses requêtes d'information. *Cette absence de co-opération a toujours été incomprise*, et a provoqué des difficultés logistiques graves au sein de l'UMR. C'est le soutien du recteur, puis des universités, qui a finalement permis de résoudre ces difficultés en fléchant de fait et d'autorité le bâtiment EGIM Nord à l'Institut, nous permettant enfin d'initier une recherche de moyens pour faire face à la perte logistique. Les dernières difficultés liées à la sécurité du personnel semblent être en voie de régularisation.
- Parallèlement, il apparaît que l'ECM continue de retirer progressivement et sans concertation ses personnels IATOS de l'UMR, compte tenu des résultats de la campagne de postes 2006 (récupération du poste de secrétaire de direction de l'UMR, demandé pour et à la création de l'UMR). Globalement la politique de cet établissement semble aller à l'encontre de la notion de rattachement de laboratoire, et *au détriment de son propre intérêt*. Cette décision s'ajoute en effet à celle ayant conduit l'UMR à gérer ses comptes à l'UPCAM (2001/2002), dont les conséquences se mesurent aujourd'hui.
- Les *difficultés de trésorerie et de gestion au sein des établissements* ont provoqué des difficultés notoires. En particulier 300k€ de l'UMR ont été provisoirement gelés à l'EGIM pendant plusieurs mois sans concertation. Il semble que des difficultés nouvelles et notoires apparaissent également à l'UPCAM... Enfin et de façon plus générale, la menace des *remontée des crédits* via les différents établissements/organismes en fin d'année est un élément plus que perturbateur ; en particulier ces remontées privent l'UMR de fonds propres collectés pour faire face à l'accueil de nouveaux chercheurs et le lancement de thématiques à risques, l'amortissement et le remplacement des matériels technologiques, ou la réponse aux appels d'offre (problèmes d'abondement)...
- Les pôles de compétitivité ont été une réussite pour la recherche partenariale. Toutefois il faudrait éviter d'arriver à un constat où ces pôles domineraient la politique scientifique des laboratoires et/ou des établissements/organismes.
- Le problème des bourses doctorales a déjà été évoqué, et gagnerait considérablement dans une concertation entre les organismes donneurs de bourse.
- La *colorisation* des équipes dont nous avons parlé, si elle permet de bénéficier des atouts des différents établissements/organismes, n'en demeure pas moins une difficulté déjà signalée dans le contexte inter-établissements. Il pointerait toujours un risque de scission au sein de l'UMR, compte tenu du contexte inter-établissements, et de la difficulté de concilier les cultures « Université » et « Ecole », voire CNRS. Une façon de pallier cette difficulté résiderait, au-delà du site unique déjà en cours, dans un *ancrage des équipes* par le recrutement de chercheurs CNRS au sein de chacune d'elles, et par la réussite du projet d'Espace Photonique inscrit au prochain CPER.
- Enfin, L'UMR souffre également de difficultés qui lui sont propres. En particulier *un changement de génération pointe*, qu'il nous faut commencer de préparer pour une mise en œuvre à moyen terme.

Notons en conclusion que l'UMR apparaît assez forte aujourd'hui pour s'intéresser de plus près à une croissance exogène (accueil d'équipes extérieures avec collèges A). Ce paragraphe ne doit pas non plus réduire l'optimisme quant au futur présagé pour l'UMR, à savoir un *grand centre photonique de dimension internationale*, scientifique, opérationnel et politique, avant 2015. Le site unique, l'espace photonique et le GIS ou label Carnot, l'Ecole Centrale Marseille, le soutien avéré des Universités et du ST2I, le pôle de compétitivité et la jeunesse des effectifs, la qualité des seniors, la pertinence thématique et l'ouverture interdisciplinaire..., sont de sérieux atouts pour atteindre cet objectif.
