

**Centre de Mathématiques Appliquées
de l'École Polytechnique (CMAP)
UMR CNRS 7641**

**Rapport d'Activité
de Janvier 2004 à Septembre 2007**

Directeur : Kamel Hamdache, Directeur de recherches CNRS

**CMAP, École Polytechnique, 91128 Palaiseau, France
Secrétariat : Nasser Nacer – Tél. (33) 01 69 33 46 00 – Fax. (33) 01 69 33 46 46
e-mail : mata@cmapx.polytechnique.fr
<http://www.cmap.polytechnique.fr>**

Table des matières

Présentation générale	5
Modèles aléatoires, finance et statistique	11
Activités de recherche	12
Projets et axes d'avenir	22
Responsabilités et distinctions scientifiques	23
Collaborations scientifiques et industrielles	24
Publications	24
Modélisation de l'évolution du vivant (oct. 2006 →)	31
Activités de recherche	32
Projets et axes d'avenir	35
Responsabilités et distinctions scientifiques	36
Publications	36
Théorie du signal et de l'apprentissage	39
Activités de recherche	40
Projets et axes d'avenir	44
Responsabilités et distinctions scientifiques	45
Collaborations scientifiques et industrielles	45
Publications	46
Optimisation de formes et matériaux	51
Activités de recherche	52
Projets et axes d'avenir	62
Responsabilités et distinctions scientifiques	63
Collaborations scientifiques et industrielles	63
Publications	65
Imagerie Médicale et Electromagnétisme	71
Activités de recherche	72
Projets et axes d'avenir	76
Publications	83

Génie logiciel et visualisation scientifique	89
Activités de recherche	89
Projets et axes d'avenir	91
Collaborations scientifiques et industrielles	91
Publications	92
Commande optimale (oct. 2006 →)	95
Activités de recherche	95
Projets et axes d'avenir	96
Responsabilités et distinctions scientifiques	97
Collaborations scientifiques et industrielles	97
Couplage d'équations (→ oct. 2005)	101
Activités de recherche	101
Projets et axes d'avenir	103
Responsabilités et distinctions scientifiques	104
Collaborations scientifiques et industrielles	104
Publications	104
Équations hyperboliques non-linéaires et applications (→ 2005)	107
Équations aux Dérivées Partielles et contrôle (→ 2005)	109
Production scientifique du CMAP	109
Articles dans des revues avec comité de lecture	111
Articles dans des revues sans comité de lecture	122
Conférences invitées	122
Communications avec actes	128
Communications sans actes	130
Ouvrages scientifiques (ou chapitres)	131
Ouvrages de vulgarisation (ou chapitres)	132
Directions d'ouvrages	132
Autres publications	133
Autres activités internationales	134
Information et culture scientifique et technique	135
Valorisation	138
Brevets	139

Présentation générale

La recherche au CMAP

Depuis sa création en 1974, le Centre de Mathématiques Appliquées (CMAP) s'est fixé comme objectif le développement et l'exploration des mathématiques en liaison avec les applications. L'ouverture du CMAP vers d'autres disciplines se manifeste par la variété et la complexité des thèmes de recherche qui sont abordés. Son fonctionnement permet à ses équipes d'explorer et d'initier des thématiques nouvelles. Les domaines de recherche du CMAP sont en liaison étroite avec des problématiques posées en physique, mécanique, chimie, finance et biologie mais aussi dans les domaines socio-économiques ou des technologies de l'information. L'essence des recherches au CMAP obéit au cycle : modélisation, analyse mathématique, simulations numériques, visualisation puis raffinement de la modélisation. Chaque étape de ce cycle utilise les compétences des membres du laboratoire.

Le CMAP est organisé en équipes couvrant ses domaines de recherche. La pérennité de ces équipes dépend du statut de leurs responsables. Certaines équipes disparaissent dès lors que les responsables obtiennent une promotion qui les oblige, s'ils sont au CNRS, à demander une mutation vers un autre laboratoire. D'autres sont créées par de nouvelles recrues du CMAP. La politique scientifique du centre a permis un essaimage régulier de ses compétences et de son personnel vers d'autres laboratoires.

Le CMAP travaille en étroite liaison avec le Département d'Enseignement-Recherche en Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique dans la définition de la politique d'enseignement et de recherche, du recrutement et de la participation du personnel CNRS aux enseignements de mathématiques appliquées tant en cycle ingénieur qu'en Master.

Le personnel enseignant chercheur du CMAP est pour l'essentiel composé de professeurs, professeurs chargés de cours et maîtres de conférence recrutés à temps plein ou partiel par le Département d'Enseignement-Recherche en Mathématiques Appliquées, et d'enseignants venant d'autres universités comme l'Université de Paris 10 ou l'Université d'Evry dans lesquelles des unités mixtes du CNRS n'existent pas. Ces derniers exercent au CMAP leurs recherches à mi-temps.

Deux nouvelles équipes projets communes au CMAP et à l'INRIA Futurs ont rejoint le CMAP (1DR et 2CR). D'autres équipes, INRIA Futurs ou de l'ENSAE-CREST, devraient rejoindre le CMAP dans un avenir plus ou moins proche.

Le personnel ITA du laboratoire est recruté soit par l'Ecole Polytechnique soit par le CNRS et récemment par INRIA Futurs (depuis septembre 2007). Ce personnel est affecté à des équipes du laboratoire ou à la gestion du système informatique ou au secrétariat du laboratoire.

Le Département d'Enseignement-Recherche en Mathématiques Appliquées joue un rôle important dans la stabilisation des effectifs du CMAP. La politique de recrutement d'enseignants permanents au CMAP a permis de pérenniser quelques thèmes de recherches comme les mathématiques financières (Nicole El Karoui, PR), la théorie du signal et de l'apprentissage (Stéphane Mallat, PR) ou l'optimisation de forme et matériaux (Grégoire Allaire, PR). Le recrutement récent de Nizar Touzi (PR) en probabilités anticipe le départ à la retraite de Nicole El Karoui et le recrutement de Sylvie Méléard (PR) en probabilités a permis de créer une nouvelle équipe dont la thématique est l'évolution du vivant.

L'utilisation de ressources issues du Web (ISI Web of Knowledge, Google Scholar ou le logiciel de Harzing.com : Publish or Perish) pour l'évaluation chiffrée des chercheurs et des laboratoires, comme cela est demandé par le CNRS dans le cadre de cette contractualisation, pose de nombreux problèmes. Les chercheurs en mathématiques sont manifestement sous-évalués et désavantagés par la méthodologie de ces mesures, sans parler même des doutes sérieux sur la fiabilité et la pertinence de ces mesures. D'ailleurs les sociétés savantes de mathématiques (IMU, ICIAM, IMS) ont mis en place un comité extraordinaire pour étudier le problème de l'utilisation des ressources en question et de proposer une approche relative aux mathématiques. Le CMAP attend les propositions de ce comité avant de prendre position sur ce sujet.

Composition du CMAP

Les effectifs du CMAP (enseignants chercheurs, chercheurs, doctorants et ITA) se montent à environ 70 personnes dont 25 doctorants. Les enseignants-chercheurs du CMAP employés à temps plein par l'École Polytechnique sont actuellement : 5 Professeurs, 1 Directeur de Recherche, 4 Professeurs Chargés de Cours (dont un poste vacant en 2007), 1 Maître de Conférences. Notons que 2 Professeurs Chargés de Cours ont quitté le CMAP dans la période 2004-2007 (1 PR universitaire et 1 DR INRIA).

Le CNRS fournit encore la plus grande partie des chercheurs permanents et reste un partenaire important du CMAP : 4 Directeurs de Recherche dont un à 1/3 temps depuis mars 2007, 5 Chargés de Recherche dont un vient de rejoindre par mutation le centre en septembre 2007 (notons aussi que 2 autres CR affectés au CMAP sont en détachement). Le rapprochement du CMAP avec INRIA Futurs a permis l'accueil d'un DR INRIA en septembre 2006 et de 2 CR INRIA en septembre 2007 dans le cadre d'équipes projets communes. Cette politique de rapprochement avec l'INRIA va être renforcée. La grande majorité des chercheurs permanents du CMAP sont également enseignants à mi-temps du Département de Mathématiques Appliquées.

Le CMAP compte aussi 3 professeurs des universités qui y effectuent une partie de leur recherche, leurs universités ne possédant pas encore d'UMR de mathématiques. Notons que les équipes-projet INRIA comprennent aussi officiellement (du point de vue de l'INRIA) des chercheurs extérieurs au CMAP.

Trois ingénieurs de recherche (dont un poste vacant) assurent la maintenance du réseau et des systèmes informatiques, l'assistance informatique, l'encadrement des doctorants au niveau logiciel, le développement des logiciels et la gestion des contrats. Le secrétariat du CMAP, auquel il faut adjoindre le secrétariat du département de Mathématiques Appliquées et le secrétariat du Master est assuré par 3 personnes. De plus, un secrétaire a été recruté

en CDD par l'Ecole pour assister la gestionnaire du laboratoire. Ces personnels ITA, à l'exception d'un ingénieur CNRS, sont sur des postes de l'École Polytechnique. En septembre 2007 INRIA Futurs a affecté au CMAP une secrétaire (en CDD) pour la gestion des équipes projets CMAP-INRIA Futurs.

Distinctions

Nicole El Karoui et Jean-Claude Nédélec ont reçu la médaille de chevalier de la légion d'honneur. Jean-Claude Nédélec a obtenu le prix J.-L. Lions de l'Académie des sciences de Paris en 2005. Toufic Abboud a obtenu le prix Blaise Pascal de l'Académie des sciences de Paris en 2005. Nizar Touzi a obtenu le prix du meilleur jeune chercheur en finance par l'Institut Europlace de Finance. Stéphane Mallat a obtenu les prix suivants : Grand Prix IST en 2007 de l'Académie, l'IEEE Fellow 2006, l'IST Grand Prize de la communauté Européenne, le prix de citations en informatique et sciences de l'ingénieur CNRS et ISI en 2004. En 2006 Nicole El Karoui a fait la une du Wall Street Journal (suivie des Echos et du Monde en France) pour son développement du Master de probabilités appliquées à la finance, reconnue comme la meilleure formation mondiale dans ce domaine. Nicole El Karoui et Grégoire Allaire ont été invités pour des conférences plénières au congrès de l'ICIAM 2007.

Les équipes de recherche

Initialement, le centre était structuré en une dizaine d'équipes, certaines plus anciennes, d'autres apparues plus récemment avec l'arrivée de nouveaux chercheurs ou par regroupement, d'autres disparues suite au départ de leur responsable suite à une promotion DR ou PR. Chaque chercheur ou ingénieur de recherche du CMAP inscrit son activité dans une ou deux de ces équipes. Ce découpage ne constitue pas un cadre rigide, et les activités scientifiques transverses sont encouragées. Jusqu'en 2005, les équipes étaient les suivantes :

- 1- Méthodes intégrales et propagation des ondes (resp. **J.C. Nédélec**)
- 2- Couplage d'équations (resp. **F. Nataf**)
- 3- Modèles aléatoires, finance et statistique (resp. **N. El Karoui**).
- 4- Théorie du signal (resp. **S. Mallat**)
- 5- Optimisation de forme et matériaux (resp. **G. Allaire**)
- 6- Équations aux dérivées partielles et contrôle (resp. **J.P. Puel**)
- 7- Modèles cinétiques et matériaux non linéaires (resp. **K. Hamdache**)
- 8- Équations hyperboliques non linéaires et applications (resp. **P. Le Floch**)
- 9- Problèmes inverses (resp. **H. Ammari**)
- 10- Génie logiciel et visualisation scientifique (resp. **J.F. Colonna**).

De nombreux départs de membres importants du CMAP ont eu lieu récemment : ceux de F. Nataf, dont la promotion DR nécessitait la mobilité, de cinq doctorants à la fin de leur

thèse, de P. LeFloch pour effectuer un changement thématique, et de l'antenne de l'Université de Versailles dirigée par J.P. Puel, dont le retour naturel au sein de cette université était souhaité par cette dernière et le CNRS. Par suite, les équipes 2, 6 et 8 ont disparu, et les autres se sont restructurées. L'équipe 9, Problèmes inverses (resp. H. Ammari), l'équipe 1, Méthodes intégrales et propagation des ondes (resp. J.C. Nédélec) et l'équipe 7, Modèles cinétiques et matériaux non linéaires (resp. K. Hamdache) se sont regroupées pour créer la nouvelle équipe Modélisation et Inversion en Électromagnétisme (resp. H. Ammari), dans laquelle se sont retrouvés les membres restants des équipes disparues.

L'équipe 4, Théorie du signal (resp. S. Mallat) s'est transformée en équipe Théorie du signal et Apprentissage pour prendre en compte les activités de recherche de nouvelle recrues. E. Bacry a remplacé S. Mallat à la direction de l'équipe après le détachement de ce dernier vers sa société Let It Wave (S. Mallat est retourné au CMAP en septembre 2007).

L'arrivée de S. Méléard en septembre 2006 a permis de créer une nouvelle équipe transverse entre la branche Aléatoire du centre et sa branche Analyse et Calcul Scientifique. La structuration du centre s'est enrichie d'une nouvelle équipe, commune CMAP et INRIA Futurs, COMMANDS dirigée par F. Bonnans. A partir de septembre 2006 le CMAP était structuré comme suit

- 1- Modèles aléatoires, finance et statistique (resp. **N. El Karoui**).
- 2- Modélisation de l'évolution du vivant (resp. **S. Méléard**).
- 3- Théorie du signal et de l'Apprentissage (resp. **E. Bacry**)
- 4- Mécanique, Matériaux et Optimisation de forme (resp. **G. Allaire**)
- 5- Modélisation et Inversion en Électromagnétisme (resp. **H. Ammari**)
- 6- Génie logiciel et visualisation scientifique (resp. **J.F. Colonna**).
- 7- COMMANDS (resp. **F. Bonnans**).

La politique d'ouverture du CMAP en direction d'INRIA Futurs, sa volonté d'attirer des chercheurs CNRS en mutation ou en affectation, l'arrivée prévue de l'ENSAE-CREST et d'autres laboratoires de recherche sur le campus de l'École, nécessitent une nouvelle structuration du centre qui est détaillée dans le projet scientifique du CMAP UR1-DS-II.3 pour 2009-2012.

Animation et coopérations scientifiques

La recherche au CMAP était rythmée jusqu'à septembre 2006 par deux séminaires hebdomadaires, l'un en Analyse appliquée et Calcul scientifique et l'autre en Probabilités. Depuis cette date un seul séminaire bi-mensuel, comportant deux exposés, a lieu en regroupant toutes les thématiques du laboratoire. Des groupes de travail comme en Imagerie médicale et inversion (Habib Ammari), Finance (Nicole El Karoui) ou Modélisation pour l'Évolution du Vivant (Sylvie Méléard) complètent cette organisation. Un colloquium mensuel est organisé conjointement avec le CMLS et le LIX.

Le CMAP participe à l'organisation de congrès internationaux : congrès en l'honneur de Nicole El Karoui (2004), Luc Tartar (2007), de Jean Pierre Puel (2007) et de François Murat (2007). Il a participé également à l'organisation du colloque bi-annuel maghrebin

TamTam07Alger. Le CMAP a été désigné par la SMAI comme organisateur du congrès de la SMAI en 2009 et Vincent Giovangigli assure la présidence du comité d'organisation.

Enseignement

Le CMAP est l'unique laboratoire de recherche du Département Enseignement-Recherche de Mathématiques Appliquées à l'École Polytechnique. Il participe donc activement et de manière cruciale à la formation des polytechniciens aussi bien au niveau du cycle ingénieur qu'au niveau Master et Doctorat. La quasi totalité des chercheurs permanents du CMAP sont également enseignants à mi-temps ou bien vacataires au Département de Mathématiques Appliquées. Les chercheurs du CMAP sont donc amenés faire des cours, encadrer des Travaux Dirigés et des Travaux Pratiques pour les élèves de l'École Polytechnique. Par ailleurs, ils proposent des sujets de stages, de projets personnels ou en équipe.

Valorisation

Depuis sa création le CMAP a cherché à nouer des contacts et des relations contractuelles avec l'industrie et les services comme l'Aérospatiale, la BNP, le CEA, Clayton, le CNES, Dassault Aviation, Dassault Electronique, EADS, l'EDF, la FBF, l'IFP, PSA, Renault, la Société Générale, Thalès. Ces collaborations se concrétisent souvent sous forme de contrats dont des conventions CIFRE qui permettent de rémunérer des doctorants. De nombreux membres du CMAP sont consultants à titre personnel de ces entreprises.

Trois jeunes entreprises ont été créées par des chercheurs du CMAP et se sont installées au départ dans les locaux de X-Technologies. La société IMACS créée en 1994 par Toufic Abboud (CR CNRS) s'occupe d'acoustique et d'électromagnétisme. La société Let It Wave créée en 2001 par Stéphane Mallat (PR) s'occupe de traitement d'images et a été primée par l'ANVAR. Cette société a quitté le site de X-Tech. La troisième société, Finance Concept, créée par Rama Cont (CR) et à laquelle participe Nicole El Karoui, s'occupe de conseil et de développement d'outils numériques pour la modélisation mathématiques en finance et gestion des risques. Elle a été primée par le Ministère de la Recherche.

Le CMAP est noeud français du réseau européen MULTIMAT (MRNT-CT 2004-505226) dont le coordinateur français est Grégoire Allaire. Les chercheurs du CMAP participent à de nombreux GdR comme MOMAS (Grégoire Allaire en est le président du conseil scientifique et membre du bureau du GdR), MOMAD (dirigé par Sylie Benzoni), MABM (dirigé par Emmanuel Grenier), ou bien des projets ANR comme MICA (dirigé par A. Chambolle).

Le CMAP a été désigné par la SMAI comme organisateur du congrès de la SMAI pour l'année 2009 et Vincent Giovangigli assure la présidence du comité d'organisation.

L'équipement informatique et le développement logiciel

Le CMAP est doté d'un parc informatique conséquent répondant aux besoins de ses chercheurs et de son personnel administratif. Il dispose d'un réseau moderne en constante évolution d'une centaine de PC sous Linux. Deux grappes de calcul Sumix et Clunix sont par-

ticulièrement bien adaptés aux besoins du laboratoire en calculs parallèles. Des outils de développement performants sont mis à la disposition des chercheurs. Un comité informatique est animé par les roots du laboratoire dont la mission est de réfléchir à la politique informatique du laboratoire.

Les crédits du laboratoire sont utilisés pour l'amélioration de son fonctionnement (achat de mobilier, d'imprimantes, de PC, pour la maintenance de son parc informatique) et pour le soutien à ses activités de recherche (missions des chercheurs et enseignant-chercheurs, des doctorants et post-doctorants), activités d'animation scientifique, paiement des salaires de doctorants et post-doctorants sur ses contrats).

Modèles aléatoires, finance et statistique

Responsable : Nicole El Karoui

Professeur à l'École Polytechnique

Chercheurs confirmés

- ▷ Jocelyne Bion-Nadal, Chargée de recherche CNRS
- ▷ Patrick Cattiaux, Professeur à l'Université de Nanterre
- ▷ Rama Cont, Chargé de recherche CNRS
- ▷ Randal Douc, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique
- ▷ Valdo Durrleman, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique
- ▷ Nicole El Karoui, Professeur à l'École Polytechnique.
- ▷ Emmanuel Gobet, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique
- ▷ Carl Graham, Chargé de recherches CNRS
- ▷ Caroline Hillairet, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique
- ▷ Christian Léonard, Professeur à l'Université de Nanterre
- ▷ Sylvie Méléard, Professeur à l'École Polytechnique depuis Sept 2006
- ▷ Stéphane Menozzi, Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique 2004-2005
- ▷ Alexandre Popier, ATER à l'École Polytechnique 2005-2006
- ▷ Claudia Ravanelli, Post-Doc 2004-2005
- ▷ Nizar Touzi, Professeur à l'École Polytechnique depuis Sept 2006

Doctorants encadrés au laboratoire

- ▷ Romain Deguest.
- ▷ Jean Edouard Espinoza
- ▷ Arash Fahim, thèse en cotutuelle
- ▷ Julien Hok, thèse CIFRE PriceWaterHouseCoopers soutenue en 2006.
- ▷ Céline Labart, soutenance prévue en Oct 2007, puis Post-Doc à l'INRIA.
- ▷ Jean-Philippe Lemor, thèse CIFRE avec EDF soutenue en Déc 2005, actuellement dans l'équipe de recherche BNP-Paribas Paris

- ▷ Asma Meziou, soutenance en Nov 2006, actuellement dans l'équipe de recherche de Gazélys.
- ▷ Moeiz Rouis, soutenance en Sept 2007.
- ▷ Mohamed M'rad, depuis Oct 2004.
- ▷ Emily Tanimura, depuis Oct 2003, *Modèles d'interactions sociales*.
- ▷ Peter Tankov, thèse soutenue en 2004, Maître de conférences à l'Université Paris 7 depuis 2005.
- ▷ Ekaterina Voltchkova, thèse soutenue en 2005, Maître de conférences à l'Université Toulouse 1 depuis 2006.
- ▷ Ying Jiao, soutenance en Déc 2006, actuellement Maître de Conférences à l'Université Léonard de Vinci.

Doctorants encadrés en dehors du laboratoire

- ▷ Nicolas Cazanave, Contrat CIFRE Coface, Oct 2001, *Risque de crédit à l'interface de la finance et de l'assurance*. Contrat terminé sans thèse en 2005.
- ▷ David Nicolay, Cadre de l'École Polytechnique, Oct 2002, *Calibration et couverture de produits dérivés de taux d'intérêt*. Soutenance prévue en Déc 2007

Départs

- ▷ Patrick Cattiaux, Professeur à l'Université Paul Sabatier, Toulouse, Janv 2007
- ▷ Emmanuel Gobet, Professeur ENSIMAG-INP Grenoble, 2005
- ▷ Christian Léonard, Professeur à l'Université de Nanterre
- ▷ Stéphane Menozzi, thèse soutenue en Déc 2004, Maître de conférences à l'Université Paris 7 depuis 2005.
- ▷ Alexandre Popier, Maître de conférences à l'Université du Mans depuis 2006
- ▷ Claudia Ravanelli, Assistante à l'Université de Zurich depuis Oct 2005

Arrivées

- ▷ Nizar Touzi (sept 2006), Responsable recherche CREST
- ▷ Valdo Durrleman (sept 2006), Assistant Prof Math Dept de l'Université de Stanford
- ▷ Caroline Hillairet (sept 2005), thèse Université Paul Sabatier de Toulouse
- ▷ Sylvie Méléard (sept 2006), Professeur Université Nanterre

Activités de recherche

Cette équipe existe sous cette forme au Laboratoire depuis 2002. Elle est née de la fusion de l'ancienne équipe de Modélisation probabiliste et milieux aléatoires avec celle de Modélisation mathématique en finance. Ce regroupement a été motivé par l'interaction des membres

et des thématiques. Depuis l'année dernière, une forte interaction existe avec l'équipe modélisation de l'évolution du vivant.

L'équipe effectue et étudie la modélisation aléatoire de phénomènes complexes, issus entre autres de la physique, des télécommunications, de la finance et des phénomènes écologiques. L'aléatoire intervient aussi bien de façon fondamentale que pour tenir compte des incertitudes et de la complexité du modèle. Des techniques stochastiques de pointe sont utilisées en conjonction avec des méthodes issues d'autres branches des mathématiques, et s'appuient sur un fort investissement dans la physique ou la réalité économique du problème. Par ailleurs, les méthodes numériques probabilistes se sont développées de manière intensive ces dernières années ; on les retrouve dans de nombreux travaux des membres de l'équipe, en réseaux, écologie, statistiques ou finance.

Une liste non exhaustive des activités principales de l'équipe suit, décrivant un certain nombre de thèmes importants et les interactions effectives

- ▷ Probabilités libres
- ▷ Grands réseaux de communication
- ▷ Estimation de processus
- ▷ Modélisation et méthodes probabilistes pour les EDP non linéaires
- ▷ Méthodes de Monte Carlo pour des problèmes d'optimisation
- ▷ Mesures de risque et pricing non linéaire
- ▷ Algèbre MaxPlus en théorie du potentiel et en finance
- ▷ Processus de sauts et applications en finance

Probabilités libres

Les probabilités libres constituent une extension de la théorie des probabilités aux espaces non commutatifs, l'équivalent d'une probabilité étant une trace. Dans ce cadre *J. Bion-Nadal* a démontré une propriété des mouvements browniens libres qui s'apparente au théorème de Girsanov en calcul stochastique classique : Étant donné un processus translaté d'un mouvement Brownien libre, on montre l'existence d'une nouvelle trace pour laquelle ce processus translaté est un mouvement Brownien libre. De plus ces deux traces sont asymptotiquement équivalentes. Ce résultat fait l'objet d'une publication dans *Journal of Operator Theory*.

Grands réseaux de communication

Les réseaux de communication forment des ensembles complexes de ressources – processeurs, mémoires, fibres optiques, commutateurs ... – assemblées selon une structure de graphe. Les tâches à effectuer nécessitent plusieurs ressources simultanément. Des algorithmes rapides et délocalisés doivent gérer ce partage de ressources. Le comportement porte sur des espaces gigantesques, et l'étude requiert des approximations appropriées.

Le plus souvent on ne dispose d'aucune formule et peu d'information sur les lois invariantes. C'est ainsi pour un réseau introduit par Vvedenskaya, Dobrushin et Karpelevich, qui comporte N files d'attente illimitées à serveur unique, les clients arrivant à taux proportionnel à N , choisissant chacun L files uniformément et allant à la plus courte. Ils avaient

obtenu une loi des grands nombres fonctionnelle pour des conditions initiales satisfaisant une loi des grands nombres, puis un résultat à l'équilibre montrant que la proportion de files de taille dépassant k décroît sur-exponentiellement avec k .

Ce résultat a suscité énormément d'intérêt dans la communauté des réseaux de communication, aussi bien des praticiens que des théoriciens. Il a apporté des idées nouvelles pour établir des protocoles délocalisés de partage de ressources ou d'équilibrage de charge.

Carl Graham a d'abord étendu cette étude à des résultats de chaoticté et de loi de grands nombres sur l'espace des trajectoires. Il a ensuite obtenu un théorème limite central fonctionnel à l'équilibre, publié à *Probability Theory and Related Fields*. Il s'agit de justifier par une méthode de compacité-unicité une interversion de limites du type $\lim_{N \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow \infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{N \rightarrow \infty}$. Le contrôle des lois invariantes utilise l'ergodicité et une étude fine des comportements en temps long du système dynamique non-linéaire qui décrit la limite loi des grands nombres, utilisant l'existence d'un trou spectral pour certains opérateurs liés à sa linéarisation autour de son point stable et des comparaisons originales et techniques.

C. Graham a entrepris l'étude des grandes déviations pour ce réseau, en essayant d'adapter la stratégie ci-dessus. Les difficultés techniques abondent. Il entreprend aussi l'étude en régime « heavy load » ou « heavy traffic » (charge ou trafic lourds) d'un modèle apparenté, de type réseau de Jackson conditionné à l'état du réseau, où l'on modifie les paramètres dès que certaines files sont sous certains seuils.

C. Graham a aussi entamé une collaboration avec Philippe Robert (INRIA) pour établir et analyser un modèle pertinent des algorithmes TCP de gestion de la congestion dans internet. Ils ont en particulier établi un modèle champ-moyen multi-classe sur lequel ils ont obtenu des résultats de chaoticté et de loi des grands nombres en régime transitoire, et s'attaquent à l'étude du régime stationnaire.

Estimation de processus

Une classe de modèles, utilisé dans des domaines aussi divers que le traitement du signal, la statistique liée aux génomes ou les mathématiques financières, est constitué par des modèles à données latentes (ou non observées) tels que les chaînes de Markov cachées ou les modèles auto-régressifs à régime markovien. La difficulté pour l'estimation vient de ce que la loi de probabilité des observations est décrite comme une loi marginale associée à des grandeurs non observables. Dans ce cadre des chaînes de Markov cachées paramétriques, l'estimation par maximum de vraisemblance n'étant pas directement calculable, des méthodes telles que l'EM ont été proposées.

MÉTHODES PARTICULAIRES ET MCMC

Néanmoins, certaines quantités intermédiaires de l'EM restent non explicites et des approximations de type particulière ont été ainsi développées dans la littérature. *Randal Douc* a exploité la connaissance fine de l'approximation particulière pour proposer et justifier théoriquement et par la pratique le choix des décalages dans l'approximation particulière en fonction de la taille des observations, donnant ainsi un cadre rigoureux dans lequel ces algorithmes sont efficaces.

Dans ces modèles les variables cachées se comportent conditionnellement aux observations comme une chaîne de Markov inhomogène. Des résultats précis sur des bornes explicites de convergence géométrique pour des chaînes de Markov inhomogènes ont été

obtenus par *Randal Douc* et permettent une connaissance non asymptotique de l'oubli de la condition initiale pour la chaîne de Markov. Dans des cas d'absence de trou spectral, un critère simple impliquant une seule condition de drift a été proposée et permet à travers des techniques de couplage d'exhiber des convergences explicites à taux sous-géométriques, non nécessairement polynomiaux. Ce travail a permis de nouveau d'obtenir des bornes non asymptotiques pour ces chaînes sous géométriques. Ces résultats ont ensuite été étendus à temps continu pour des processus de Markov.

Une conséquence indirecte de l'obtention de ces résultats pratiques sur des chaînes de Markov généraux concerne l'oubli de la condition initiale pour des chaînes de Markov cachées. Cet oubli pourtant capitale pour la stabilité en temps long de l'approximation particulière n'avait pu être obtenu jusqu'à présent que dans des cas d'espace compact. Une généralisation en espace non compact a pu être trouvée dans un travail collaboratif avec *Randal Douc* où les techniques développées dans les chaînes de Markov généraux ont pu être adaptées en fonction des spécificités de la chaîne de Markov cachée.

D'autre part, des outils d'analyse simple en terme de consistance et normalité asymptotique de l'approximation particulière ont été obtenus par *Randal Douc* sur les étapes de mutation et de sélection. Il est à souligner que ces résultats portent sur des fonctions non nécessairement bornées ainsi que sur des procédures pouvant impliquer un nombre aléatoire de particules telles que les procédures de branchement. Les résultats pour la sélection et la mutation ont permis de justifier précisément un algorithme de Population Monte Carlo où suivant les idées de l'approximation particulière, des particules à poids sont utilisées pour approcher une distribution donnée, l'évolution des particules en fonction du temps répondant cette fois ci à une volonté de profiter des approximations passées pour choisir des noyaux plus en rapport avec la distribution cible.

ESTIMATION DE PROCESSUS

Emmanuel Gobet lui considère des problèmes d'estimation de processus, à partir de l'observation de celui-ci à des instants discrets. Il s'agit ici de retrouver sa loi, en identifiant par exemple les coefficients qui régissent sa dynamique. Dans un cadre non paramétrique avec observations en basse fréquence, *E. Gobet*, *M. Hoffmann* et *M. Reiss* ont établi des vitesses d'estimation exactes, qui sont non standard et s'interprètent comme celles de problèmes inverses mal posés. Dans un cadre haute fréquence et observations non markoviennes (l'observation est l'intégrée du processus), *E. Gobet* et *A. Gloter* ont établi des propriétés LAMN en utilisant astucieusement le calcul de Malliavin. Ce travail ouvre la voie vers des résultats asymptotiques pour des processus cachées.

Modélisation et méthodes particulières stochastiques

Outre l'activité de *Sylvie Méléard* sur la modélisation de modèles aléatoires liés à des problèmes d'écologie, décrite dans le chapitre consacré à l'Équipe Modélisation de l'évolution du vivant, elle s'intéresse à divers problèmes liés à l'interprétation probabiliste des EDP non linéaires et à leur utilisation pour construire des algorithmes particuliers de simulation des solutions.

Dans un travail avec *J. Fontbona*, *S. Méléard* a étudié une équation de Navier-Stokes 2-d avec ajout d'une force extérieure. La solution de l'équation de vorticité associée est interprétée comme la loi d'un processus non linéaire avec création de vorticité. De cette

interprétation probabiliste, ils ont déduit un algorithme qui semble être original dans ce domaine.

Avec B. Jourdain et W. Wołczyński, *S. Méléard* a continué à développer des travaux concernant l'interprétation probabiliste d'équations avec Laplacien fractionnaire. Ici, le processus non linéaire est dirigé par un processus stable. La difficulté vient du fait que ce processus a des petits sauts qui peuvent s'accumuler fortement. Le dernier travail étudie de manière la plus générale possible un processus non linéaire dirigé par un processus de Lévy dont on montre l'existence. L'unicité est beaucoup plus compliquée. Dans le cas des processus stables, ce processus est associée à une équation non linéaire dirigée par un brownien fractionnaire. L'existence d'une solution fonction de l'équation est obtenue grâce au développement d'un calcul de Malliavin pour les processus stables.

La troisième classe d'équations qui intéresse énormément *S. Méléard* concerne les équations de Landau spatialement homogènes. Leur interprétation probabiliste avait fait l'objet de la thèse d'Hélène Guérin, mais l'extrême dégénérescence de la matrice de diffusion du processus non linéaire associé rendait une méthode particulière "classique" impossible. Avec J. Fontbona et H. Guérin, *S. Méléard* a développé dans un travail très récent une construction particulière et proposé un algorithme dont on montre la convergence. Pour cela ils ont utilisé un transport de masse entre la loi du processus non linéaire et la mesure empirique d'un système approximant. Des problèmes de mesurabilité de la fonction de transport ont dû être résolus, qui n'existaient pas dans la littérature.

Inégalités fonctionnelles

Patrick Cattiaux s'intéresse de façon productive à cette thématique depuis deux ans. Remarquant que la forme de Dirichlet (carré du champ) d'un générateur de diffusion est une sorte de projection de l'entropie calculée sur les trajectoires, il a montré comment certaines inégalités célèbres (log-Sobolev, trou de spectre, une version faible de Blachmann-Stamm) découlent aisément de leur version robuste (c'est à dire vraie pour toute diffusion) moyennant des propriétés d'"hyper-continuité". Il s'est également intéressé à des versions plus faibles (weak spectral gap) introduites par Röckner et Wang et étudiées par Aida, Gong, Hino, Wu, etc. Ces résultats vont paraître dans *Potential Analysis*.

Il s'est ensuite plus particulièrement occupé des problèmes perturbatifs (partant d'une mesure satisfaisant ce type d'inégalités, comment la perturber en préservant ces inégalités). Partant d'une idée de Kavian, Kerkycharian et Roynette sur l'utilisation de la transformation de Girsanov pour ce type de problème, il a donné des conditions suffisantes "tractables" pour la perturbation de log-Sobolev (partant d'un semi-groupe hypercontractif et non pas ultracontractif comme chez KKR). Ces conditions étendent les résultats tractables de Malrieu et Roberto en dimension 1. Partiellement présents dans l'article à *Potential Analysis*, ils sont optimisés dans un travail accepté aux *Annals of Probability* (sous réserve d'une réduction importante de la taille de l'article).

En collaboration avec Franck Barthe (Toulouse) et Cyril Roberto (Marne la Vallée) nous avons repris ces mêmes idées pour étudier de manière systématique les mesures sur-exponentielles et sous-gaussiennes. Il s'agit d'un gros travail quasiment totalement rédigé. Nous y étudions un nouveau type de contraction de L_2 dans des espaces d'Orlicz plus gros que tous les L_p ($p > 2$) liée à des inégalités de type log-Sobolev étudiées il y a 15 ans par

Rosen (dans l'espace euclidien). Nous refaisons toute la théorie (théorèmes à la Gross, Rothaus, Hoegh-Krohn et Simon, tensorisation) dans ce cadre, ce qui nous permet d'interpoler entre les résultats connus dans le cas exponentiel (Bobkov, Ledoux, Houdré) et gaussien (Talagrand, Ledoux, Bobkov, Götze). Nous faisons le lien avec les superbes résultats de Latala-Olezkiewicz repris tout récemment par Wang, et enfin suivant la stratégie de Bakry et Ledoux (Inventiones) nous sommes à même de décrire le profil isopérimétrique de ces mesures (près de l'origine) ceci indépendamment de la dimension.

D'un autre côté, il a entamé une collaboration avec Arnaud Guillin (Paris 9) sur les inégalités de transport. Nous avons obtenu un joli résultat intermédiaire : concentration gaussienne plus Poincaré donnent l'inégalité T2 de Talagrand à un logarithme de l'entropie près. Ce résultat est encore insuffisant pour fournir un contre exemple à la conjecture d'Otto et Villani (log Sobolev équivaut à T2) ou pour donner une CNS pour T2, mais nous nous attelons à son amélioration. Des discussions et des collaborations avec Cedric Villani et ses élèves, notamment Francois Bolley sont en cours.

Plusieurs autres projets de collaboration sont en cours : avec Malrieu (Rennes) et Guillin sur le transport (T1 cette fois) et les edp non linéaires, avec Wu (Clermont) sur la vision transport de la mécanique de Nelson (voir le papier de Mikami à EJP).

Méthodes de Monte Carlo et optimisation

Les méthodes de Monte Carlo offrent une approche souple et efficace pour résoudre certains problèmes en moyenne et grande dimension. Notamment en finance, la détermination des prix des options se ramène en général au calcul d'espérances. Les fonctionnelles à simuler peuvent être assez complexes et des simulations naïves ne donnent pas de résultats satisfaisants.

Emmanuel Gobet s'est intéressé à ces questions, notamment pour des problèmes où les processus sont amenés à vivre dans un domaine prédéterminé. Des schémas de simulation appropriés ont été construits et analysés en grande généralité, et même au delà d'un cadre markovien.

MONTE CARLO POUR LES PROBLÈMES D'OPTIMISATION

E. Gobet a également développé des méthodes probabilistes de type Monte Carlo ad hoc pour des problèmes non linéaires. C'est le cas pour la valorisation des options Swing (contrat d'approvisionnement propre au marché du gaz naturel), dont la solution satisfait à une équation de Hamilton-Jacobi-Bellman). C'est aussi le cas pour l'équation du filtrage de Zakai, approchée en s'appuyant de plus sur des méthodes de quantification.

Les problèmes d'arrêt optimal se traduisent en termes d'inéquation variationnelle, également difficile à résoudre, dès que la dimension du système dépasse 1 ou 2. Comme pour la commande optimale, une méthode alternative peut consister à chercher plutôt une stratégie d'arrêt approchant l'optimalité. La clé de voûte repose sur la détermination des sensibilités des coûts espérés par rapport à la stratégie d'arrêt. Un travail de C. Costantini, N. El Karoui et *E. Gobet* apporte des réponses à cette analyse de sensibilité par rapport à la frontière, pour une frontière réfléchissante ou absorbante.

Avec S. Maire, *E. Gobet* a proposé des méthodes de réduction de variance adaptative, dont le but est d'apprendre quelle est la variable de contrôle optimale. Le procédé décrit pour la vaste classe des problèmes linéaires converge à taux exponentiel vers la solution

cherchée. L'extension de ce principe aux équations non linéaires (EDSR) a fait l'objet de la thèse de *C. Labart*.

MONTE CARLO POUR LES EDSR

La théorie des Équations Différentielles Stochastiques Rétrogrades (EDSR) a été introduite par Peng et Pardoux en 1990, et leur lien avec les problèmes d'optimisation dans les années 1995. Depuis ces équations sont présentes dans beaucoup de travaux de l'équipe.

E. Gobet et ses doctorants (*J.P. Lemor* et *C. Labart*) ont travaillé sur les questions de schéma numérique de simulation d'EDSR. A l'aide d'outils avancés d'analyse stochastique, il a été montré que l'erreur trajectorielle sur la composante forward d'une EDSR markovienne donne le terme principal dans l'erreur sur la solution d'une EDSR discrétisée en temps. Cela renforce l'intérêt pour des schémas trajectorielles précis. Par ailleurs, des méthodes de régression empirique ont été développées et analysées pour les EDSR browniennes en toute généralité, puis étendues aux EDSR avec sauts.

DISCRÉTISATION EN ESPACE DES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES STOCHASTIQUES

Nizar Touzi s'intéresse au problème d'analyser les résultats de convergence de la méthode de discrétisation des EDS par simulation des temps de sortie d'un domaine. Ceci permettrait de définir des schémas de type Monte Carlo plus adaptés pour des options dont le paiement terminal dépend du chemin (path-dependent). En finance, une telle discrétisation est naturelle car elle prend en compte le fait que les investisseurs ne modifient leur stratégie que si les variables d'état ont varié de manière significative.

Mesures de risque, pricing non linéaire

La théorie des mesures de risque a été introduite dans les années 1990, par Artzner, Delabien et al. pour les mesures cohérentes, puis par Föllmer et Schied pour les mesures convexes, comme une réponse aux normes réglementaires introduites par le régulateur pour calculer les réserves à mettre en regard de positions risquées. Cette théorie est très proche de la théorie du « super price » introduite dans les années 1995. Les contributions à ce thème sont nombreuses.

MESURES DE RISQUE DYNAMIQUES, ET PRICING NON LINÉAIRE

Jocelyne Bion-Nadal a alors étendu au cadre dynamique les théorèmes de représentation duale des mesures de risque convexes et a obtenu une caractérisation de la consistance en temps en termes de la représentation duale. Cette caractérisation est cruciale pour la construction d'exemples. En utilisant la théorie des martingales BMO continues à droite, cette caractérisation permet de construire des exemples de mesures de risques dynamiques qui généralisent les processus associés à des équations différentielles stochastiques rétrogrades, dont les trajectoires sont cadlag et qui peuvent avoir des sauts.

Les mesures de risque dynamiques permettent de développer une nouvelle méthode de pricing en marché incomplet. Cette nouvelle approche permet de donner des prix (d'achat et de vente) de manière consistante en temps en tenant compte à la fois des coûts de transaction et des risques de liquidités. Elle permet aussi de fournir des prix qui soient compatibles avec les données de marché pour les options. Ces recherches font l'objet de plusieurs pré-publications, et de séminaires et conférences invités. Certains papiers sont soumis à publication.

TRANSFERT DE RISQUE OPTIMAL ET INF-CONVOLUTION

Comment "dessiner" le meilleur produit associé à des risques spécifiques ? C'est la question à laquelle essayent de répondre Pauline Barrieu et *Nicole El Karoui* lorsque l'objectif est de minimiser les réserves. L'inf-convolution est l'outil approprié qui permet d'unifier les points de vue de couverture et de transfert de risques. Dans le cas dynamique, des équations stochastiques rétrogrades sont introduites pour résoudre le problème. La dualité est plus complexe à établir, et un travail abstrait sur les ESDR quadratiques BMO est en cours.

Ce thème a fait l'objet d'un travail de synthèse à paraître dans le Princeton Lectures Notes. Dans une autre direction, avec une post-doctorante italienne *Claudia Ravanelli* nous avons cherché à relaxer la condition de cash invariance, fondamentale dans les mesures de risk, pour prendre en compte une ambiguïté sur les discount facteurs. Cela nous a conduit à introduire des mesures cash sous-additives.

Problèmes inverses en finance

Le problème de calibrer les paramètres des processus utilisés dans la modélisation des actifs financiers est un enjeu majeur dans les marchés. Plusieurs aspects ont été abordés dans l'équipe, autour de *Rama Cont* pour les processus à sauts et autour de *Valdo Durrleman* pour la dynamique de volatilité.

PROCESSUS DE SAUTS ET APPLICATIONS EN FINANCE

L'insuffisance des modèles de diffusion en finance face aux observations empiriques a suscité de nombreux travaux de recherche sur des processus stochastiques à trajectoires discontinues, dits « processus de sauts », qui permettent de mieux modéliser les risques associés aux variations soudaines des prix de marché. La recherche autour de l'implémentation numérique de ces modèles, à la fois pour l'évaluation des options et pour la calibration des modèles aux données de marché est active depuis quelques années.

Nous nous sommes intéressés à différents aspects : constructions de modèles multidimensionnels, lien avec les équations intégro-différentielles, méthodes numériques, problèmes inverses. *Rama Cont* et *Peter Tankov* ont écrit une monographie sur ce sujet, parue en 2004. Les thèses de *Ekaterina Voltchkova*, *Peter Tankov* et *Moeiz Rouis* ont traité aux méthodes numériques, les aspects multidimensionnels et les problèmes inverses dans ce cadre. L'équipe a organisé une conférence internationale en 2006 à l'École Polytechnique sur ce sujet avec le soutien de la Fondation Européenne de la Science et le réseau européen AMAMEF.

VOLATILITÉ IMPLICITE

Valdo Durrleman s'est intéressé à la compréhension des relations structurelles entre la surface de volatilité implicite (qui caractérise les lois marginales du processus) et la volatilité du spot (qui caractérise les trajectoires du processus). Ces relations sont obtenues par une étude asymptotique fine de la surface de volatilité implicite pour les courtes maturités. Elles ont été établies dans le cas continu. Nous avons commencé à étendre ces résultats dans le cas des sauts. Il a aussi étudié les applications de ces relations aux problèmes de calibration. Ces relations permettent d'écrire un développement de Taylor de la surface de volatilité implicite. Ce développement est particulièrement intéressant quand il s'agit de calibrer un modèle. Les méthodes de calibration sont extrêmement coûteuses en temps de calculs et des approximations sont alors très utiles.

V. Durrleman s'est intéressé aux applications au problème de reconstruction des volatilités d'actifs non liquides. Ici, on s'intéresse à calculer le prix d'options sur un actif qui est relié de façon structurelle à d'autres actifs dont les prix d'options sont connus. Par exemple, il s'agit d'un panier dont on veut calculer les prix d'options en fonction des prix d'options de ses composantes. Ou alors, d'options du taux de change EUR/JPY en fonctions des options sur EUR/USD et USD/JPY (avec *N. El Karoui*). Ces problèmes sont difficiles car les relations structurelles liants l'actif à ses composantes fait perdre la propriété de Markov. Nous travaillons actuellement avec *A. Galichon* sur la dynamique de la corrélation implicite, via des copules dynamiques

Un doctorant *D. Nicolay* travaille à étendre ces développements aux options sur taux d'intérêt.

IMPACTS DE MARCHÉ

Ce thème de recherche de *V. Durrleman* est centré autour du calcul des stratégies optimales en cas d'erreur de pricing de marché. La situation est typiquement la suivante : un actif est sous évalué par rapport à un certain nombre de facteurs. Un arbitrageur qui veut tirer parti de cette opportunité doit le faire de façon astucieuse à cause des coûts de transactions et de son impact sur le marché. *V. Durrleman* s'est attaché à construire des modèles simples dans lesquels les stratégies peuvent être calculées explicitement en utilisant des techniques de contrôle stochastique.

Produits dérivés de crédit

Le marché des dérivés de crédit a cru de manière très rapide ces dernières années, pour culminer dans la crise actuelle. Plusieurs questions se posent naturellement dans ce domaine. L'une est d'accélérer le calcul des prix des CDO, baskets de defaults de taille 100 ou 150, dont la dépendance est en général modélisée via un facteur commun. L'autre la mise en place de modèle dynamique efficace. *Ying Jiao* a fait sa thèse sur ce thème.

MÉTHODE DE STEIN ET PRICING DES CDO

La méthode de Stein permet de mesurer la vitesse de convergence de sommes de v.a. indépendantes vers la loi Gaussienne ou la loi de Poisson. Mieux, on peut contrôler aussi les approximations au premier ordre. En jouant sur les deux types d'approximation, on obtient des résultats très satisfaisants pour le marché.

APRÈS LE DÉFAUT

L'étude abstraite des temps de défaut successifs permet d'appréhender de manière dynamique les CDOs, et de mettre en évidence le rôle joué par l'information donnée par les défaut passés qui n'est pas prise en compte dans le marché. Avec *Monique Jeanblanc*, *Nicole El Karoui* et *Ying Jiao* approfondissent cette question.

R. Cont aborde lui l'approche top-down du marché en modélisant directement la perte future et propose des procédures de calibration.

Gestion de portefeuille sous contraintes

Dans la gestion de portefeuille, les contraintes peuvent porter sur les poids du portefeuille, ou sur le comportement de la valeur du portefeuille.

CONTRAINTES DE DRAWDOWN

Nizar Touzi s'intéresse au problème d'optimisation de la consommation future en horizon infini dans le cadre d'un marché financier autorisant d'échanger un actif risqué en temps continu, et sous la contrainte que la valeur du portefeuille reste au dessus d'une proportion donnée de son maximum courant. Dans le cadre d'un taux d'intérêt nul, une solution explicite de ce problème est obtenue pour une classe générale de fonctions d'utilité. Plusieurs questions restent ouvertes dans ce projet, comme l'extension au cas d'un taux d'intérêt quelconque, et la formulation du problème en horizon fini. La méthode de résolution utilisée est basée sur la technique de vérification en contrôle stochastique. Il serait aussi intéressant de trouver une solution probabiliste qui ouvrirait la porte à la généralisation à des dynamiques des variables d'état plus générales.

CONTRAINTES DE PLANCHER

Ce thème a fait l'objet d'un travail de *Nicole El Karoui* avec Jeanblanc et Lacoste, mais est aussi le sujet de la thèse de *Asma Meziou*. Le problème est transformé en celui du choix optimal d'une martingale pour l'ordre convexe, dans la classe de celle qui domine un processus donné.

La solution passe par la décomposition en maximum courant d'une surmartingale. Il est possible alors de construire une théorie du potentiel non linéaire (Föllmer). De nombreux exemples construits à partir des martingales d'Azema Yor permettent de trouver des exemples explicites. Ce problème rejoint d'autres problèmes d'optimisation (Bank) dont la solution repose toujours sur le même type de décomposition. L'algèbre Max Plus est à la base de ces représentations.

Méthodes numériques probabilistes pour les EDP totalement non linéaires

Cheridito, Soner et Victoir, et *Nizar Touzi* ont introduit la notion d'équation différentielle stochastique rétrograde du second ordre. Depuis septembre 2006, *Arash Fahim* travaille sur les implications de ce résultat en termes de méthodes numériques probabilistes, dans le cadre de la préparation d'une thèse sous la direction de *Nizar Touzi*. Plus précisément, ils ont explicité un schéma numérique de type Monte Carlo, et montré la convergence vers l'unique solution de viscosité de l'EDP associée. Des bornes sur la vitesse de convergence sont obtenues par la méthode de Dynkin. Ils mènent en parallèle un projet d'implémentation de ces techniques avec Xavier Warin.

Finance des marchés d'énergie

Arnaud Porchet, Xavier Warin, et *Nizar Touzi* se sont intéressés au problème de gestion optimale d'une centrale. Il s'agit de trouver les temps optimaux de marche/arrêt en présence de coût fixes d'allumage et d'extinction, et de durée minimale de périodes de marche/arrêt, dans un cadre de marché financier des produits d'énergie en temps continu. Ils ont obtenu une caractérisation de la solution par un système couplé d'équations différentielles stochastiques rétrogrades réfléchies, et implémenté les méthodes numériques de Monte Carlo correspondantes.

Dans un autre projet, Arnaud Porchet, René Aïd, et *Nizar Touzi* ont analysé des problématiques d'intégration verticale dans les marchés de l'énergie par le biais d'un modèle d'équilibre. Ils ont montré que l'intégration verticale, tout comme le marché à terme, permet de réduire les risques de l'entreprise, mais dans des directions différentes. Ce domaine ouvre par ailleurs de nombreuses questions à analyser dans l'avenir. Un problème d'importance majeure est la compréhension de l'actualisation à très long terme, par exemple dans le cadre de l'évaluation des réserves dédiées au démantèlement des centrales nucléaires. La finance de marché classique n'offre pas de réponse à ce genre de question. Une voie possible serait d'exploiter les modèles d'évaluation des entreprises dont les prix côtés sur le marché contiennent implicitement une information sur l'actualisation à long terme.

Asymétrie d'information et délit d'initié

Caroline Hillairet s'est intéressée au problème d'optimisation de portefeuille d'agents financiers, en horizon fini. L'information minimale dont ils disposent pour optimiser leur portefeuille est celle obtenue par l'observation du processus de ces prix. Néanmoins, il semble clair que les agents sont informés de façon hétérogène et reçoivent un flux d'information qui leur est propre. Leur stratégie va naturellement dépendre de cette information privée.

L'étude de la détection d'initiés sur un marché financier, et plus généralement les questions liées à l'asymétrie d'information, ont été abordés dans les années 90 via les techniques de grossissement initial de filtration. Nous utilisons ces outils pour étudier l'impact de la présence d'initiés sur la formation des équilibres. Nous avons en particulier montré que plus un agent est informé sur le marché, plus il doit rester discret et investir peu (comparativement aux autres agents), afin qu'un équilibre puisse exister ... et de ne pas être détecté.

Cette modélisation de l'asymétrie d'information a néanmoins ses limites, d'une part par le fait que l'actualisation de l'information privée n'est pas prise en compte, et d'autre part car les prix du marché ne sont pas affectés par la stratégie de l'initié. Ces deux aspects restent largement à explorer, notamment en introduisant de nouvelles modélisations de l'asymétrie d'information et en mettant en place de nouveaux tests de détection d'initiés.

En outre, à partir de simulations de la stratégie d'un initié, on observe l'existence de pertes assez importantes de la richesse par rapport au plus haut historique (c'est-à-dire des drawdowns importants, pouvant être de l'ordre de 70 % dans les simulations). Cette mesure est importante pour certains fonds qui cherchent des stratégies avec des maximums drawdown (en général de l'ordre de 10%). Une fonction d'utilité logarithmique, bien que souvent utilisée dans la littérature, va conduire à des drawdowns difficilement acceptables pour les gérants de hedge funds. Un travail en cours s'intéresse à l'étude de la stratégie optimale d'un initié sous une telle contrainte de minimisation de pertes, le processus de richesse X devant satisfaire la contrainte suivante : $X(t) > \alpha \max_{0 \leq s \leq t} X(s) \forall 0 \leq t \leq T$ avec $\alpha \in]0, 1[$.

Projets et axes d'avenir

- ▷ Les approches associant les techniques probabilistes et analytiques pour l'étude des problèmes difficiles autour des équations de la physique des gaz raréfiés (Boltzmann, Fokker-Planck-Landau ...) sont en plein développement.

- ▷ Des contacts sur les réseaux de communication ont été pris avec différentes équipes de l'INRIA ainsi qu'à l'étranger.
- ▷ L'étude des systèmes de particules, une composante historique du CMAP, est en train d'évoluer, vers les méthodes de filtrage particulaire et les méthodes particulières Monte-Carlo pour les EDP non-linéaires, de la physique et du contrôle.
- ▷ Les chaires de finance vont donner de nouvelles impulsions dans la direction des thèmes présentés et d'autres, comme les dérivés sur la longévité . . .
- ▷ La chaire VEOLIA-Environnement permettra une entrée forte du CMAP dans des enjeux d'actualité autour de l'écologie et du développement durable.
- ▷ L'objectif affiché par le Laboratoire et l'École est de renforcer le pôle « probabilité du vivant », avec lequel nous interagissons naturellement.
- ▷ L'autre objectif est de monter une équipe de statistique conséquente, en renforçant l'équipe du CREST lors de sa venue à Palaiseau.

Le premier problème est de faire face aux questions de recherche posées par les chaires. Pour cela, il faut que nous renforçons le pôle Monte Carlo en finance affaibli par les départs d'*Emmanuel Gobet* et de *Randal Douc* et que nous arrivions à remplacer très rapidement *Rama Cont*, qui part à Columbia. Nous avons aussi à gérer le départ à la retraite de *Nicole El Karoui*. La question des personnes, plus que des moyens grâce aux chaires, va se poser de manière cruciale. Les collaborations que nous avons nouées avec les différents départements, économie, biologie, informatique, doivent être renforcées structurellement.

Responsabilités et distinctions scientifiques

- ▷ Patrick Cattiaux est directeur de l'ANR IFO (Inégalités fonctionnelles, déc. 2005).
- ▷ Rama Cont a été lauréat du concours « Technologies innovantes » du Ministère de la Recherche/ANVAR en 2004.
- ▷ Rama Cont a été lauréat en 2006 du prix « Best paper in Mathematical Finance » de l'Institut Europlace.
- ▷ Rama Cont a été nommé membre du conseil scientifique du programme de Finance quantitative de Rutgers University en 2006.
- ▷ Randal Douc a coorganisé le colloque international *New directions in Monte Carlo methods*, Fleurance, 2007, avec G. Fort, F. Forbes et E. Moulines.
- ▷ Randal Douc est responsable scientifique au sein du CMAP de l'ANR Adap'MC (Méthodes de Monte-Carlo adaptatives).
- ▷ Nicole El Karoui est membre du Conseil National de l'AERES
- ▷ Nicole EL Karoui a été lauréate en 2005 du prix « Best paper in Mathematical Finance » de l'Institut Europlace.
- ▷ Carl Graham est éditeur associé pour *Markov Processes and Related Fields*.
- ▷ Sylvie Méléard est éditeur associé pour *Stochastic Processes and their Applications*.
- ▷ Nizar Touzi a été lauréat en 2007 du prix « Best Young Researcher in Mathematical Finance » de l'Institut Europlace.

Collaborations scientifiques et industrielles

- ▷ L'équipe fait partie du GdR GRIP (Interaction des particules).
- ▷ L'équipe participe au réseau européen Advanced mathematical methods in Finance (AMAMEF).
- ▷ Rama CONT a participé à la création de l'entreprise FINANCE CONCEPTS, projet soutenu par l'ANVAR.
- ▷ Sylvie Méléard est membre des ANR IFO et MAEV (Modélisation aléatoire pour l'évolution du vivant, déc. 2005).
- ▷ Nicole El Karoui est responsable de la Chaire « Risques financiers » avec la Société Générale, dans le cadre de la Fondation du Risque.
- ▷ Nicole El Karoui et Nizar Touzi sont co-responsables de la Chaire « Dérivés du Futur » avec la Fédération des Banques Françaises.
- ▷ Nizar Touzi est responsable de la Chaire EdF Calyon.

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

- ▷ **Bion-Nadal J.** : A free Girsanov property for free Brownian motions. *Journal of Operator Theory*, vol 55 (2) pp. 373-392 (2006).
- ▷ **Cont, R.** : Model uncertainty and its impact on the pricing of derivative instruments. *Mathematical Finance*, Vol 16, No 3 (2006), 519–547.
- ▷ **Cont, R., E Voltchkova** : Finite difference methods for option pricing in jump-diffusion models. *SIAM Journal of Numerical Analysis*, Vol 43, No 4 (2005) 1596–1626.
- ▷ **Cont, R., E Voltchkova** : Integrodifferential equations for option prices in exponential Lévy models, *Finance and Stochastics*, Vol 9, No 3 (2005)
- ▷ **Cont, R., P Tankov** : Recovering Lévy processes from option prices : regularization of an ill-posed inverse problem. *SIAM Journal of Control and Optimization*, Volume 45 Issue 1 (2005) pp. 1–25.
- ▷ S Ben Hamida, **Cont, R.** : Recovering volatility from option prices by evolutionary optimization, *Journal of Computational Finance*, Vol 8 No 4 (2005) 43–76.
- ▷ **Cont, R., P Tankov** : Nonparametric calibration of jump diffusion option pricing, *Journal of Computational Finance*, Vol 7 No 3 (2004) 1–49.
- ▷ **Cont, R.** Modeling term structure dynamics : an infinite dimensional approach, *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, Vol 8 No 3 (2005) 1–24.
- ▷ **Douc R., Moulines E.** : Limit theorems for weighted samples with applications to Sequential Monte Carlo Methods. A paraître dans *Annals of Statistics*.
- ▷ **Douc R., Roueff F., Soulier P.** : On the existence of some ARCH(∞) processes. A paraître dans *Stochastic Processes and their Applications*.

- ▷ Cappé O., **Douc R.**, Moulines E., Olsson J. : Sequential Monte Carlo smoothing with application to parameter estimation in non linear state space models. A paraître dans *Bernoulli*.
- ▷ **Douc R.**, Guillin A., Marin J.M., Robert C.P. : Minimum variance importance sampling via Population Monte Carlo. A paraître dans *ESAIM Prob and Stat*.
- ▷ **Douc R.**, Guillin A., Moulines E. : Limit theorems for subgeometric Markov chains". A paraître dans *Annales de l'I.H.P.*
- ▷ **Douc R.**, Moulines E., Soulier P. : Computable bounds for subgeometric ergodic Markov chains. A paraître dans *Bernoulli*.
- ▷ **Douc R.**, Guillin A., Marin J.M., Robert C.P. : Convergence of adaptive mixtures of importance sampling schemes. *Annals of Statistics*, 35 (2007), no 1.
- ▷ **Douc R.**, Guillin A. and Najim J. : Moderate deviation in particle filtering. *Ann. Appl. Probab.* 15 (2005), no. 1B, 587-614.
- ▷ **Douc R.**, Moulines E., Ryden T. : Asymptotic properties of the maximum likelihood estimator in autoregressive models with Markov regime. *Ann. Statist.* 32 (2004), no. 5, 2254-2304.
- ▷ **Douc R.**, Moulines E., Rosenthal J. : Quantitative bounds for geometric convergence rates of Markov chains *Ann. Appl. Probab.* 14 (2004), no. 4, 1643-1665.
- ▷ **Douc R.**, Fort G., Moulines E., Soulier P. : Practical drift conditions for subgeometric rates of convergence *Ann. Appl. Probab.* 14 (2004), no. 3, 1353–1377.
- ▷ **V. Durrleman**, R. Carmona. : Generalizing the Black-Scholes formula to multivariate contingent claims, *Journal of Computational Finance* 9 (2006) 43–67
- ▷ **El Karoui N.** & Ravanelli C. : Cash Sub-additive Risk Measure and Interest Rate Ambiguity, accepted *mathematical Finance* 2007
- ▷ **El Karoui N.** & **Meziou A.** (2007) : Max-Plus Decomposition of Supermartingale, Optimal Stopping and Stochastic order. *Annals of Probability* (2007)
- ▷ **N. El Karoui** & **A. Meziou** : Constrained Optimization with respect to Stochastic Dominance. Application to Portfolio Insurance. *Mathematical Finance*, Vol 16,n°1, pp103-117, January 2006
- ▷ Barrieu.P & **El Karoui N.** : Inf-convolution of risk measures and Optimal risk transfer. *Finance et Stochastics Vol.9, N°2, Avril 2005* (Recompensé par le prix Europlace du meilleur article de Finance 2006).
- ▷ B.Bouchard, **N. El Karoui** & **N.Touzi** : Maturity randomization for stochastic control problems. *Annals of Applied Probability* 2005, Vol.15, N°4, 2575-2605
- ▷ H.Foellmer & **N. El Karoui** : Non linear Potential Theory. *Annales de l'IHP(B) Probability and Statistics*, Vol 41,n°3, May-June 2005, pp 269-283 En hommage à P.A.Meyer
- ▷ **El Karoui, N.** ; Jeanblanc, M. ; Lacoste, V. : Optimal Portfolio management with Insurance with American capital guarantee. *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol.29, Issue 3, March 2005, Pages 449-468
- ▷ Bank, P. & **El Karoui, N.** : A Stochastic Representation Theorem with Applications to Optimization and Obstacle Problems. *Annals of Probability* 2004, Vol. 32, N°1B,1030-1067

- ▷ **E. Gobet** et **C. Labart**. Error expansion for the discretization of Backward Stochastic Differential Equations. *Stochastic Processes and their Applications*. pp. 803-829 (2007).
- ▷ **E. Gobet**, G. Pagès, H. Pham et J. Printems. Discretization and simulation of the Zakai equation. *SIAM Journal on Numerical Analysis* Vol 44 (6) pp. 2505-2538 (2006).
- ▷ **E. Gobet**, A. Gloter. LAMN property for hidden processes : the case of integrated diffusions. A paraître dans *Annales de l'IHP (B) Probabilités et statistiques*.
- ▷ C. Costantini, **E. Gobet** et **N. El Karoui**. Boundary sensitivities for diffusion processes in a time-space domain. *Applied Mathematics and Optimization* Vol. 54 (2) pp. 159-187 (2006).
- ▷ C. Barrera-Esteve, F. Bergeret, **C. Dossal**, **E. Gobet**, **A. Meziou**, **R. Munos**, et D. Reboul-Salze. Numerical methods for the pricing of Swing options : a stochastic control approach. A paraître dans *Methodology and Computing in Applied Probability* Vol. 8 (4) pp. 517-540 (2006).
- ▷ **E. Gobet**, **J.P. Lemor** et X. Warin. Rate of convergence of an empirical regression method for solving for Generalized Backward Stochastic Differential Equations. Vol. 12 (5) pp. 889-916, *Bernoulli* (2006).
- ▷ **E. Gobet** et **S. Menozzi**. Discrete sampling of functionals of Itô processes. A paraître dans *Séminaire de Probabilités* (2007).
- ▷ **E. Gobet** et S. Maire. Sequential control variates for functionals of Markov processes. *SIAM Journal on Numerical Analysis* Vol. 43 (3) pp. 1256-1275 (2005).
- ▷ **E. Gobet**, **J.P. Lemor** et X. Warin. A regression-based Monte-Carlo method to solve backward stochastic differential equations. *Annals of Applied Probability* Vol. 15 (3) pp. 2172-2202 (2005).
- ▷ **E. Gobet** et **R. Munos**. Sensitivity analysis using Itô-Malliavin calculus and martingales. Application to stochastic optimal control. *SIAM Journal on Control and Optimization* Vol.43 (5) pp. 1676-1713 (2005).
- ▷ M. Bossy, **E. Gobet** et D. Talay. Symmetrized Euler scheme for an efficient approximation of reflected diffusions. *Journal of Applied Probability* Vol.41 (3) pp. 877-889 (2004).
- ▷ **E. Gobet** et **S. Menozzi**. Exact approximation rate of killed hypoelliptic diffusions using the discrete Euler scheme. *Stochastic Processes and their Applications* Vol.112 (2) pp. 201-223 (2004).
- ▷ **E. Gobet**, M. Hoffmann et M. Reiß. Nonparametric estimation of scalar diffusions based on low frequency data. *Annals of Statistics* Vol.32 (5), pp. 2223-2253 (2004).
- ▷ **C. Graham** : Functional central limit theorems for a large network in which customers join the shortest of several queues. *Probability Theory and Related Fields* 131 (2005) 97–120, DOI 10.1007/s0040-004-0372-9.
- ▷ **C. Hillairet**. Existence of an equilibrium on a financial market with discontinuous prices, asymmetric information and non trivial initial σ -fields. *Mathematical Finance* Vol. 15 no. 1 (2005) 99-117.
- ▷ **C. Hillairet**. Comparison of insider's optimal strategies depending on the type of side-information. *Stochastic Processes and their Applications* 115 (2005) 1603-1627.

- ▷ Fontbona J., **Méléard S.** : A random space-time birth particle method for 2d vortex equations with L^1 -external field. À paraître dans *Mathematics of Computation*.
- ▷ Fontbona J., Guérin H. et **Méléard S.** : Measurability of optimal transportation and convergence rate for Landau type interacting particle systems. À paraître dans *Probability Theory and Related Fields*
- ▷ **N. Touzi**, E. Jouini, W. Schachermayer. Law-invariant risk measures have the Fatou property. *Advances in Mathematical Economics*, 9, 49-72 (2006).
- ▷ **N. Touzi**, M. Mrad, A. Zeghal. Monte Carlo estimation of a joint density using Malliavin Calculus. *Computational Economics*, 27, 4, 497-531 (2006).
- ▷ **N. Touzi**, R. Elie, J.-D. Fermanian. Kernel estimation of Greek weights by parameter randomization. *Annals of Applied Probability*, 4, 1399-1423 (2007).
- ▷ **N. Touzi**, P. Cheridito, H.M. Soner, N. Victoir. Second order BSDE's and fully nonlinear PDE's. *Communications in Pure and Applied Mathematics* 60, 1081-1110 (2007).
- ▷ **N. Touzi**, M. Soner. Hedging under gamma constraints by optimal stopping and face-lifting. *Mathematical Finance*, 17, 59-80 (2007).
- ▷ **N. Touzi**, E. Jouini, W. Schachermayer. Optimal risk sharing under law-invariant monetary utility functions. *Mathematical Finance*, to appear.
- ▷ **N. Touzi**, F. Astic. No-Arbitrage characterization for financial markets with liquidity risk. *Journal of Mathematical Economics*, to appear.
- ▷ **N. Touzi**, I. Ben Tahar. The dynamic programming equation for the problem of optimal investment under capital gains taxes. *SIAM Journal on Control and Optimization*, to appear.
- ▷ **N. Touzi**, R. Carmona. Multiple optimal stopping and the valuation of swing options, *Mathematical Finance*, to appear.
- ▷ **N. Touzi**, G. Carlier, I. Ekeland. Optimal derivatives design for mean-variance agents under adverse selection. *Mathematics and Financial Economics* 1, 57-80 (2007).

Ouvrages de recherche

- ▷ **Cont R., Tankov, P.** : *Financial modelling with jump processes*. Chapman and Hall, CRC Press, 2003.

Chapitres de livres et d'ouvrages collectifs avec éditeur

- ▷ S Biagini et **R. Cont** (2007). Model-free representation of pricing rules as conditional expectations, in : Akahori, Ogawa et Watanabe (Eds.) : *Stochastic processes and mathematical finance*, World scientific.
- ▷ **R. Cont**, **P. Tankov** et **E. Voltchkova** (2007). Hedging with options in models with jumps. In : Benth et al (Eds.) *Stochastic Analysis and Applications* (Abel Symposium 2005), Springer, pp 197–218.
- ▷ **R. Cont** (2004). Volatility clustering in financial markets, in : A Kirman et G Teyssière (eds.) : *Long memory in economics*, Springer.

- ▷ R Bruyère, **R. Cont**, R Copinot, C Jaeck, L Fery, T Spitz (2005). *Credit derivatives and structured credit*, Wiley.
- ▷ **Douc R.**, Moulines E., Soulier P. : Subgeometric ergodicity of Markov chains. In *Dependence in Probability and Statistics Series : Lecture Notes in Statistics* , Springer Vol. 187. Bertail, Patrice ; Doukhan, Paul ; Soulier, Philippe (Eds.) 2006.
- ▷ **Douc R.**, Moulines E. : Analysis of Sequential Monte Carlo Methods. In *Inference in hidden Markov models*, Series : Springer Series in Statistics, Springer. O. Cappé, E. Moulines, T. Ryden (Eds.) 2005.

Thèses et habilitations

- ▷ Rama Cont, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Paris VI (Fevrier 2005), spécialité Mathématiques Appliquées. Sujet : *Modélisation stochastique et méthodes numériques en économie et finance*.
- ▷ Randal Douc, Habilitation à Diriger les Recherches, (prévu le 10 octobre 2007).
- ▷ Julien Hok (2006). Sujet : *Informations et volatilité dans les marchés financiers*. (Rama Cont)
- ▷ Céline Labart, octobre 2007. *EDSR : analyse de discrétisation et résolution par méthode de Monte Carlo adaptatives ; Perturbation de domaines pour les options américaines*. (Emmanuel Gobet)
- ▷ Jean-Philippe Lemor, Thèse CIFRE avec EDF, juin 2005. *Approximation par projections et simulations de Monte-Carlo des équations différentielles stochastiques rétrogrades*.(Emmanuel Gobet)
- ▷ Stéphane Menozzi, décembre 2004. *Discrétisations associées à un processus dans un domaine et schémas numériques probabilistes pour les EDP paraboliques quasi-linéaires*.(Emmanuel Gobet)
- ▷ Meziou Asma (2006) *Max-plus décomposition des surmartingales et assurance de portefeuille*(Nicole El Karoui)
- ▷ Moeiz Rouis (2007). *Equations aux Dérivées partielles en finance : problèmes inverses et calibration de modèle*.
- ▷ Peter Tankov (2004). *Processus de Lévy en finance : problèmes inverses et structures de dépendance*. (Rama Cont)
- ▷ Ekaterina Voltchkova (2005), *Equations d'évolution intégrodifférentielles : méthodes numériques et applications en finance*.(Rama Cont)
- ▷ Ying Jiao (2006), *Produits dérivés de crédit, modélisation et approximation*.(Nicole El Karoui)

Actes de conférence internationale avec comité de lecture

- ▷ **Cont, R.** : Inverse problems in option pricing : a solution via random mixtures of martingales. Proceedings of ICIAM 2007 (Zurich).
- ▷ **Cont, R.** : Long range dependence in financial time series. In : Lévy-Véhel, J. et Lutton, E. (Eds.) : *Fractals in engineering*, Springer (2005).

- ▷ **Cont, R., Tankov, P. et Voltchkova, E.** : Option pricing in models with jumps : integro-differential equations and inverse problems. In : P. Naittaanmäki, T. Rossi, S. Korotov, E. Onate, J. Périaux and D. Knorzer (Eds.) *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences (ECCOMAS 2004)*, Jyväskylä, 24–28 July 2004.
- ▷ **Cont, R. et Voltchkova, E.** : Finite difference methods for option pricing in exponential Lévy models. In : P. Naittaanmäki, T. Rossi, S. Korotov, E. Onate, J. Périaux and D. Knorzer (Eds.) *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences (ECCOMAS 2004)*, Jyväskylä, 24–28 July 2004.
- ▷ Cappé O., **Douc R.**, Moulines E. Comparison of Resampling Schemes for Particle Filtering. *4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)*, Zagreb, Croatia, (2005).
- ▷ Barrieu.P& El Karoui.N Optimal Derivatives Design under dynamic risk measures. *Articles in Mathematics of Finance. Contemporary Mathematics (AMS Proceedings)* p.13-26 (2004)
- ▷ **E. Gobet et J.P. Lemor.** Numerical simulation of BSDEs using empirical regression methods : theory and practice. Proceedings of the *Fifth Colloquium on BSDEs at Shanghai on 29th May - 1st June 2005*.
- ▷ **E. Gobet et S. Maire.** A spectral Monte Carlo method for the Poisson equation. Proceedings of the *IVth IMACS Seminar on Monte Carlo Methods MCM-2003*, Berlin, 15-19 September 2003. In *Monte Carlo methods and Applications*, Vol.10 (3-4), pp. 275–285, 2004.
- ▷ **E. Gobet.** Revisiting the Greeks for European and American options. Proceedings of the *International Symposium on Stochastic Processes and Mathematical Finance* at Ritsumeikan University, Kusatsu, Japan, March 2003. In *Stochastic Processes and Applications to Mathematical Finance*, edited by J. Akahori, S. Ogawa, S. Watanabe, World Scientific Publishing, pp. 53–71, 2004.
- ▷ **C. Hillairet et M. Pontier.** Comparison of insiders' optimal strategies, three different types of side-information. *Proceedings - RIMS symposium, the 7th workshop on Stochastic Numerics, Kyoto, June 27-29, 2005*.
- ▷ **S. Méléard, N. Champagnat and R. Ferrière.** Individual-based probabilistic models of adaptive evolution and various scaling approximations. To appear in *Proceedings of the 5th seminar on Stochastic Analysis, Random Fields and Applications, Ascona, Switzerland*, Probability in Progress Series, Birkhauser 2007.

Prépublications soumises à une revue avec comité de lecture

- ▷ **Bion-Nadal. J** : Dynamic Risk Measures : Time Consistency and Risk Measures from BMO martingales, version préliminaire Rapport interne 596 CMAP (2006)
- ▷ **Bion-Nadal. J** : Dynamic Pricing in Financial Markets with Transaction Costs and Liquidity Risk, arxiv math PR0703074 (2007)
- ▷ **Bion-Nadal. J** : Time Consistent Dynamic Risk Processes, arxiv math PR060721 (2007)
- ▷ **Cont, R. et Rouis, M.** (2007) Retrieving Lévy processes from option prices by Tikhonov regularization, submitted.

- ▷ **Cont, R.** et **Tanimura, E.** (2007) Small world networks : characterization and alternative constructions, submitted.
- ▷ **Cont, R.** et **Tankov, P.** (2007) Constant Proportion Portfolio Insurance in presence of Jumps in Asset Prices, Working Paper.
- ▷ **Douc R.**, Fort G., Moulines E., Priouret P. : Forgetting of the initial distribution in Hidden Markov Models. Soumis à *Stochastic Processes and their Applications*.
- ▷ **Douc R.**, Fort G., Guillin A. : Subgeometric rates of convergence of f-ergodic strong Markov processes. Soumis à *Stochastic Processes and their Applications*.
- ▷ **Douc R.** : Non singularity of the asymptotic Fisher Information Matrix for hidden Markov Models. Soumis à *Statistics and Probability Letters*.
- ▷ Barrieu N. & **El Karoui N.** (2006) Pricing, hedging and optimally designing derivatives via minimization of risk measures, *Volume on Indifference Pricing ed. R. Carmona* Princeton University Press, to appear
- ▷ **El Karoui N.**, Hamadène S. & Matoussi A. (2006) Backward Stochastic Differential Equations *Volume on Indifference Pricing ed. R. Carmona* Princeton University Press, to appear
- ▷ **El Karoui N.**, Kurtz D., **Jiao Y.** Normal - Poisson approximations for the CDOs tranche pricing. Soumis à *Journal of computational finance*
- ▷ **El Karoui N.** et **Jiao Y.** : Stein's method and zero bias transformation : application to the CDOs pricing. *Preprint*
- ▷ **Graham C.** : Chaoticity for multi-class systems and exchangeability within classes. Rapport Interne 625 du CMAP, hal-00171668, arXiv:0709.1918v1 (2007).
- ▷ **C. Hillairet.** Existence of an equilibrium on a financial market with different asymmetric information. Preprint 2007.

Modélisation de l'évolution du vivant

(oct. 2006 →)

Responsable : S. Méléard

Professeur à l'Ecole Polytechnique.

Chercheurs confirmés

- ▷ Naïma Aïssa, Post-Doc CMAP
- ▷ Patrick Cattiaux, Professeur Université Paris 10 puis Paul Sabatier (Toulouse)
- ▷ Kamel Hamdache, Directeur de recherche CNRS
- ▷ Séraphin Mэфire, Maître de Conférence Amiens
- ▷ Sylvie Méléard, Professeur Ecole Polytechnique

Doctorants et Post-Doctorants

- ▷ Damien Chapon, stagiaire M2
- ▷ Jose-Luis Garmendia, CMAP et UNAM (Mexique)
- ▷ Chi Viet Tran, ATER Université Paris 10

Membres extérieurs

- ▷ Lila Hadjadj, Assistante Université d'Alger et doctorante
- ▷ Djamilia Hamroun, Maître-Assistante Université d'Alger
- ▷ Mauricio Labadie, Doctorant Université Paris 6
- ▷ Amaury Lambert, Maître de Conférences Université Paris 6, Laboratoire d'Ecologie

Départs et arrivées

- ▷ Patrick Cattiaux a été muté Professeur à l'Université Paul Sabatier, Toulouse
- ▷ Chi Viet Tran a obtenu un poste de Maître de Conférences à l'Université Lille 1
- ▷ Amaury Lambert est recruté Professeur à temps partiel à l'Ecole Polytechnique et participera une journée par semaine aux activités de l'équipe.
- ▷ Denis Villemonais va arriver comme doctorant.

Activités de recherche

L'équipe se consacre à la modélisation de phénomènes liés au vivant, qu'ils soient motivés par la compréhension du fonctionnement de la cellule ou par celui de l'évolution des populations et de leurs caractéristiques phénotypiques et génotypiques. Les problèmes de modélisation sont immenses et nécessitent, suivant les échelles auxquelles on se place, une modélisation déterministe ou aléatoire. Les chercheurs de l'équipe sont donc ouverts à des approches qui peuvent nécessiter des outils variés, du microscopique aléatoire au macroscopique déterministe.

Cette équipe a été créée en octobre 2006. Elle correspond à une dynamique nouvelle que l'on souhaite développer au CMAP, ce qui explique sa petite taille. Elle s'est structurée autour d'un groupe de travail, auquel ont participé également de manière très active les chercheurs Pierre Collet et Jean-René Chazotte, membres CNRS du centre de Physique théorique (CPHT), Carl Graham chercheur CNRS au CMAP, ainsi que Amaury Lambert (Laboratoire d'Ecologie, Paris 6), Maurizio Labadie, Vincent Bensaye et Nathalie Krell, doctorants au laboratoire de probabilités et modélisation aléatoire de Paris 6, et de manière plus occasionnelle, quelques membres du département de biologie.

Deux sous-groupes se détachent dans l'équipe, dont les activités sont décrites ci-dessous

Modèles aléatoires en biologie évolutive

Evolution d'une population asexuée structurée par trait et âge. (S. Méléard, C.V. Tran)

On s'intéresse ici à l'évolution temporelle d'une population d'individus caractérisés par leur âge (âge physique, âge d'une maladie,...) et par un vecteur de traits phénotypiques, ces deux paramètres étant fortement liés : l'âge agit sur les pressions de sélection et sur la nature des mutations possibles du trait, le trait agit sur la vitesse de vieillissement. A partir d'une modélisation microscopique aléatoire, on s'intéresse à diverses approximations dépendant des échelles respectives des paramètres du modèle. Des simulations illustrent notre propos. On étudie en particulier une approximation en grande population où les mutations sont rares, décrivant ainsi l'échelle de l'évolution.

Evolution d'une population sexuée, spéciation d'espèces. (J.L. Garmendia, S. Méléard)

L'étude d'une population sexuée est extrêmement complexe car on doit prendre en compte les différents modes d'évolution génétique. Outre les phénomènes de mutation, qui figurent dans la modélisation des populations asexuées, apparaissent ici en plus des phénomènes de recombinaison génétique qu'il faut prendre en compte, induisant des mécanismes de sélection au niveau des gènes, liés à une fonction d'appariement entre les individus. L'idée est de généraliser à ces populations sexuées l'approche particulière de Pierre Del Moral concernant les algorithmes de mutations et sélections. On fait le lien entre cette modélisation probabiliste et les travaux des biologistes Doebeli et Burgers.

Une fois ce modèle bien compris, nous pourrions envisager d'en étudier le comportement dans une échelle de temps évolutive.

Mesures quasi-stationnaires pour des modèles d'évolution. (P. Cattiaux, P. Collet, A. Lambert, S. Martinez, J. San Martin, S. Méléard)

Les mesures quasi-stationnaires décrivent le comportement en temps long de processus conditionnés à ne pas s'éteindre. Dans le cas des populations qui nous intéressent, soumises à une sélection de type logistique, le processus aléatoire qui décrit cette population s'éteint en temps fini. Il est donc particulièrement intéressant de mettre en évidence ces stabilités en temps long, quand on conditionne à la non extinction. Nous nous intéressons à des équations de Feller généralisées pour lesquelles le terme de dérive a un comportement de type logistique. En nous ramenant à une équation de Kolmogorov, nous montrons grâce à des arguments de théorie spectrale l'existence d'une distribution quasi-stationnaire. Nous montrons ensuite que l'unicité de la distribution quasi-stationnaire est équivalente à une propriété de retour de l'infini pour la diffusion.

Mécanismes de branchements évolutifs. (M. Benaim, N. Champagnat, S. Méléard)

L'étude de la variation phénotypique de populations soumises à sélection et mutation peut faire apparaître à l'échelle de l'évolution (échelle de temps beaucoup plus lente que l'échelle de l'écologie), des branchements évolutifs que l'on cherche à comprendre et dont on souhaite pouvoir prédire l'apparition (ou non) en fonction des paramètres du modèle. Plus précisément, on considère une population initialement monomorphe (tous les individus ont le même trait). A cause des mutations, l'ensemble des traits pris par les individus évolue au cours du temps, mais sa distribution reste essentiellement unimodale, jusqu'à un tel point de branchement où la population devient subitement bimodale. Il s'agit de comprendre le plus finement possible ce phénomène.

Modèles déterministes en biologie et médecine

Modèles de croissance de tumeurs

Il existe de nombreux modèles pour décrire la croissance des tumeurs. Il s'agit essentiellement de systèmes de réaction-diffusion à frontière libre. Ces systèmes sont parfois couplés à une autre équation de type milieu poreux pour modéliser la vitesse dans le milieu étudié. Il y a autant d'équations que de constituants et les coefficients de diffusion dans chaque constituant dépendent de la fraction volumique de ses constituants. En collaboration avec **L. Hadjadj** en thèse sous ma direction et **D. Hamroun** nous avons considéré un modèle à trois constituants : les cellules saines, les cellules malades et les macrophages. En utilisant le fait que la somme des fractions volumiques des 3 constituants est constante on obtient un système de réaction-diffusion pour deux constituants α et β . La matrice de diffusion 2×2 dépend de α et β et est dégénérée pour $\alpha = 0$ ou $\beta = 0$. Les termes de source

contiennent des non-linéarités quadratiques. Ce modèle que nous considérons est construit à partir de celui proposé par C.J.W Breward, H. Byrne, et C. Lewis pour décrire l'activation des macrophages dans le traitement des tumeurs. Le point central dans la résolution de ce système est de montrer d'abord que l'ensemble des couples (α, β) vérifiant les contraintes $0 \leq \alpha, \beta, \alpha + \beta \leq 1$ est un ensemble invariant pour le système pour tout temps. En supposant qu'à l'instant initial les données initiales et aux limites sont dans l'ensemble invariant alors on démontre que le système est bien posé au cours du temps, c'est à dire que la solution globale faible et d'énergie finie existe pour tout temps. On obtient ce résultat en introduisant les nouvelles variables d'état (u, v) avec $\alpha = \exp(u)$, $\beta = \exp(v)$. Le reste de la démonstration est standard en utilisant une discrétisation en temps et des techniques de régularisation de la matrice de diffusion.

Transport ionique dans des canaux de protéines

Avec **L. Hadjadj** et **D. Hamroun**, nous avons poursuivons notre collaboration sur le problème du transport d'une solution ionique à travers le canal d'une protéine située dans la membrane cellulaire. Ce problème est modélisé par les équations de Poisson- Nernst-Planck vérifiées par les fractions volumiques N et P de deux espèces d'ions vérifiant $0 \leq N, P, N + P \leq 1$. La deuxième condition découle du fait que la fraction volumique de l'eau est éliminée. Les équations de Nernst-Planck sont des équations de dérive-diffusion habituelles qui ressemblent aux équations intervenant dans la modélisation des semi-conducteurs. Ce travail est en cours de rédaction.

Les modèles de vascularisation et d'angiogénèse.

Lorsque les cellules tumorales sont inoculées dans un organe avasculaire, elles prolifèrent jusqu'à une taille d'environ 1 mm³, puis stagnent et deviennent dormantes tandis que lorsqu'on les inocule de nouveau dans des organes vasculaires, elles prolifèrent donnant naissance à une tumeur massive et à des métastases. Afin qu'elles puissent proliférer, les cellules cancéreuses secrètent une substance chimique qui entraîne la migration des cellules endothéliales avoisinantes, suivant une force chimotactique proportionnelle au gradient de la substance chimique. Cette migration est à l'origine de la formation de nouveaux vaisseaux sanguins nécessaires à l'oxygénation et à l'alimentation des cellules cancéreuses.

Le modèle considéré par **N. Aïssa**, **R. Alexandre** et moi-même est proposé par G. Preziosi. Il est décrit par une équation de Navier-Stokes compressible avec un terme source, couplée à une équation de réaction-diffusion modélisant la concentration chimique secrétée par les cellules cancéreuses. Le couplage est réalisé par la force chimotactique intervenant comme terme source dans l'équation de Navier-Stokes compressible. Un résultat d'existence d'une solution globale pour le couplage a été établi. Ce travail a été soumis pour publication. Avec **S. Méphire** nous avons considéré dans le cadre du stage de M2 de **D. Chapon** le modèle d'invasion de Anderson-Chaplain. Une méthode numérique a été élaborée par **S. Méphire** et **D. Chapon** permettant de décrire le phénomène de métastase.

Etude d'un modèle de la morphogénèse du tendon.

N. Aïssa a considéré un modèle mathématique décrivant la morphogénèse du tendon proposé par R.I. Schwarz. Cette étude est motivée par les transitions dramatiques observées dans ce tissu chez les sujet adulte. En effet, on observe une croissance rapide de ce tissu chez le jeune sujet tandis que sa croissance à l'âge adulte est quasiment nulle. La solution proposée consiste à faire intervenir deux facteurs : un activateur de croissance A et un complexe inhibiteur I consistant respectivement en un activateur et une molécule qui modifie l'activité de l'activateur. Ces deux facteurs ont été déduits à partir de diverses observations de cellules de culture comme composantes primaires du mécanisme qui permet à des cellules de signaler leur présence aux cellules voisines. Comme la signalisation de la densité de cellules est le régulateur principal de la synthèse de collagène et de la prolifération des cellules, ce sont ces 2 complexes qui jouent le rôle principal dans le développement du tendon. Les équations du modèle sont données par un système de deux équations de diffusion satisfaites par ρ la densité cellulaire et A la concentration du complexe activateur. Ces équations sont couplées entre elles et avec une équation différentielle donnant la dynamique de l'inhibiteur I . L'étude de l'existence d'une solution globale pour un tel système est en cours de rédaction.

Dynamique du calcium

Avec **M.Labadie**, nous étudions la dynamique du calcium Ca^{2+} dans une épine dendritique. Cette épine a la forme d'un champignon qui absorbe le Ca^{2+} par certains canaux situés au sommet du champignon et le rejette par le pieds du champignon. Nous avons modifié le modèle proposé par D. Holcman et Shuss en introduisant les variables d'état U , W et la condition aux limites pour la vitesse V du fluide. Le modèle obtenu est composé d'une équation de convection-diffusion pour la concentration de calcium avec un terme de source quadratique couplée à une équation différentielle pour le nombre de sites libres par le calcium. La vitesse V du fluide est supposée incompressible, dérivant d'un potentiel. Le point important à noter est que le couplage avec les deux autres équations se fait via les conditions aux limites satisfaites par la composante normale de la vitesse. Le point clef de l'étude faite avec **M. Labadie** est la démonstration de l'invariance au cours du temps de la zone $\Lambda(t) = \{(M, U), 0 \leq U(x, t) \leq A(x), 0 \leq M(x, t) \leq \psi(t)\}$ où $\psi(t) = \|m_0\|_\infty + t\|A\|_\infty$. On démontre un théorème d'existence global de solutions en utilisant le théorème du point fixe et le principe du maximum faible, l'existence globale et l'unicité d'une solution faible du système. L'hétérogénéité du milieu fait que le coefficient de diffusion n'est pas constant. Des zones du domaine ont un coefficient de diffusion très petit par rapport au reste du milieu. Une analyse asymptotique en fonction de la taille caractéristique du coefficient de diffusion doit être menée.

Projets et axes d'avenir

- ▷ L'étude du transport ionique dans le canal d'une protéine est un thème important. On introduira plus de complexité dans la modélisation. En particulier une attention particulière sera portée aux modèles mathématiques décrivant l'ouverture des canaux

(électrique ou chimique par des ligants).

- ▷ Analyse asymptotique du système par rapport aux paramètres pertinents du modèle, en particulier par rapport à la diffusion du calcium.
- ▷ Etude de modèles de l'inflammation.
- ▷ Etude de modèles évolutifs multi-niveaux tels modèles hôtes-parasites.
- ▷ Etude de distributions quasi-stationnaires pour des modèles microscopiques de mutation-sélection.
- ▷ Approximation des mesures quasi-stationnaires par des systèmes de particules de Fleming-Viot.

Responsabilités et distinctions scientifiques

- ▷ Kamel Hamdache est directeur du CMAP et directeur de la fédération FR 3059.
- ▷ Patrick Cattiaux est directeur de l'ANR IFO (Inégalités fonctionnelles, déc. 2005).
- ▷ Amaury Lambert est responsable parisien de l'ANR MAEV (modélisation aléatoire pour l'évolution du vivant, déc. 2006).
- ▷ Sylvie Méléard est éditeur associé pour *Stochastic Processes and their Applications*
- ▷ Sylvie Méléard est membre des ANR IFO et MAEV.

Thèse

Chi Viet Tran a soutenu sa thèse *Modèles particuliers stochastiques pour des problèmes d'évolution adaptative et pour l'approximation de solutions statistiques*, sous la direction de S. Méléard, à l'Université Paris 10, en décembre 2006.

Publications

- ▷ N. Champagnat, R. Ferrière, **S. Méléard**, *Unifying evolutionary dynamics : from individual stochastic processes to macroscopic models*, *Theoretical Population Biology* 69 (2006) 297–321.
- ▷ N. Champagnat, **S. Méléard**, *Invasion and adaptive evolution for individual-based spatially structured populations*, *J. Math. Biology* 55 (2007) 147–188.
- ▷ N. Champagnat, R. Ferrière, **S. Méléard**, *Individual-based probabilistic models of adaptive evolution and various scaling approximations*, à paraître dans les “Proceedings of the 5th seminar on Stochastic Analysis”, *Random Fields and Applications*, Ascona, Switzerland (Probability in Progress Series, Birkhauser), 2007.
- ▷ **C. V. Tran**, *Large Population Limit and Time Behaviour of a Stochastic Particle Model Describing an Age-structured Population*, à paraître dans ESAIM PS.

Articles en préparation ou soumis

Il n'est pas d'usage de mettre dans un rapport d'équipe des articles soumis ou en préparation. Toutefois, comme l'équipe n'a qu'un an d'existence, il nous semble important de montrer ainsi les directions de recherche qui se mettent en place.

- ▷ **N. Aïssa**, *On the Mathematical Model of Tendon Morphogenesis* (en préparation).
- ▷ **N. Aïssa**, R. Alexandre, **K. Hamdache**, *On a Mathematical Model in the Morphogenesis of Vascular Networks* (soumis)
- ▷ **P. Cattiaux**, P. Collet, **A. Lambert**, S. Martinez, **S. Méléard**, J. San Martin *Quasi-stationary distributions and diffusions models in population dynamics* (soumis).
- ▷ L. Hadjadj, **K. Hamdache** et D. Hamroun, *Existence of solutions to a strongly coupled degenerated system arising in tumor modeling*, Preprint CMAP R.I. 617 (2007).
- ▷ L. Hadjadj, **K. Hamdache** et D. Hamroun, *Solutions to a model of ion transport in a protein chanel* (en préparation).
- ▷ **K. Hamdache** et M. Labadie, *On a reaction-diffusion model for calcium dynamics in dendritic spine* (en préparation).
- ▷ P. Collet, S. Martinez, **S. Méléard**, J. San Martin, *Quasi-stationary distributions in Ecology* (en préparation).
- ▷ **S. Méléard**, **C.V. Tran**, *Adaptive Dynamics Models for Populations with Trait and Age Structures* (en préparation).

Théorie du signal et de l'apprentissage

Responsable : Emmanuel Bacry

Chargé de recherches au CNRS et Professeur chargé de cours à l'École Polytechnique

Chercheurs confirmés

- ▷ Emmanuel Bacry, Chargé de recherches CNRS
- ▷ Antonin Chambolle, Chargé de recherches CNRS
- ▷ Stéphane Mallat, Professeur à l'École Polytechnique
- ▷ Rémi Munos, Professeur Chargé de Cours à l'École Polytechnique.

Doctorants encadrés au laboratoire

- ▷ Pierre-Arnaud Coquelin (directeur Rémi Munos)
- ▷ Charles Dossal (directeur Stéphane Mallat)
- ▷ Laurent Duvernoy (directeur Emmanuel Bacry en codirection avec Marc Hoffmann)
- ▷ Alexey Kozhemyak (directeur Emmanuel Bacry)
- ▷ Gabriel Peyré (directeur Stéphane Mallat)
- ▷ Guoshen Yu (directeur Stéphane Mallat)

Départs

- ▷ Charles Dossal : soutenance de thèse en 2005 (Maitre de conférence à l'université Bordeaux 1).
- ▷ Alexey Kozhemyak : soutenance de thèse en 2006 (travaille maintenant chez Calyon).
- ▷ Rémi Munos : depuis septembre 2006 Directeur de recherche ?à l'INRIA
- ▷ Gabriel Peyré : soutenance de thèse en 2005 (Chargé de recherche au CNRS au CE-REMADE à Paris).

Activités de recherche

L'utilisation de mathématiques de haut niveau en traitement du signal et pour l'apprentissage est une tendance nouvelle rendue nécessaire par la quantité et la complexité croissantes d'information aujourd'hui disponible, qui génèrent un besoin d'automatisation des méthodes d'analyse, de traitement de l'information et de la prise de décisions.

Les applications les plus classiques concernent l'analyse et la transformation d'informations sonores et d'images, mais des problèmes similaires sont posés par d'autres signaux tels que des enregistrements de séries financières ou des données atmosphériques.

L'information ainsi traitée peut ensuite servir à la réalisation d'une tâche qu'il s'agit d'optimiser.

La transformée en ondelettes est un exemple d'outil mathématique sophistiqué qui a eu un impact important en traitement du signal. Malgré l'importance des applications et le grand nombre d'ingénieurs en traitement du signal, il n'y a encore que peu de chercheurs qui travaillent en mathématiques appliquées sur le traitement du signal. Le groupe créé en 1995 a donc notamment pour but de regrouper et de former des chercheurs de bon niveau en mathématiques, ayant une très bonne connaissance des applications en traitement de l'information et sachant bien manipuler les outils algorithmiques et informatiques.

Les domaines mathématiques concernés par ce type de recherche sont l'analyse harmonique, l'étude de processus aléatoires et d'estimateurs statistiques, la théorie de l'approximation, la stabilisation de problèmes inverses, l'analyse d'objets fractals et la géométrie. Outre l'aspect mathématique, chaque projet de recherche débouche sur un important travail algorithmique pour l'optimisation des calculs ainsi que sur une implémentation informatique structurée permettant la distribution sur l'Internet des logiciels développés par l'équipe.

Multifractals et Processus stochastiques

Les processus stochastiques autosimilaires ont un cadre théorique mathématique bien défini. Ainsi, les browniens fractionnaires forment une des classes les plus utilisées pour la modélisation de processus monofractals. Malheureusement, rares sont les applications où les signaux mis en jeu sont effectivement monofractals. Souvent, ils présentent des propriétés de multifractalité. En 2003, il n'existait aucun cadre théorique pour les processus "multifractals" ou encore "multisimilaires", c'est-à-dire de processus vérifiant des propriétés d'invariance d'échelle tout en faisant intervenir un continuum d'exposant de fractalité. En 2003, E. Bacry a démontré (en collaboration avec J.F. Muzy et parallèlement à un travail de Barral et Mandelbrot) que de tels processus existent bien.

Il apparaît clairement que ces processus ouvrent de très nombreux horizons tant à un niveau théorique qu'à un niveau applicatif. Ils forment à ce jour la seule classe de processus (à incréments) stationnaires, invariant d'échelle et multifractals. Au sein de cette classe de processus, le cas log-normal est particulièrement intéressant et cela pour plusieurs raisons. Non seulement, dans de nombreuses applications (finance, turbulence,...) en première approximation les statistiques correspondent effectivement à du log-normal, mais on peut montrer que plusieurs quantités statistiques ont des expressions analytiques explicites (cela a fait notamment l'objet d'une partie de la thèse d'Alexei Kozhemyak). Ces résultats ont permis de mettre au point des algorithmes de Monte-Carlo efficaces ainsi que de conduire

à des estimateurs (de type GMM) consistents. A cette occasion, nous avons d'ailleurs dû mener une étude fine des propriétés de régularité de ces processus. Tous ces résultats sont présentés extensivement dans la thèse d'Alexei Kozhemyak et sont en cours de rédaction.

Parallèlement, nous avons mis en évidence les problèmes fondamentaux que posent de façon intrinsèque les processus multifractals lorsque l'on cherche à estimer leurs paramètres. Deux asymptotiques peuvent être a priori distingués (et qui sont largement confondus dans la littérature qui s'intéresse aux applications) : une asymptotique haute résolution et une asymptotique historique infini. En fait, nous avons montré, qu'en pratique, des asymptotiques intermédiaires (dits "mixtes") doivent être utilisées pour expliquer les comportements des estimateurs. Nous avons défini un nouveau formalisme statistique pour les processus multifractals qui permet de rendre compte de nombreux phénomènes numériques observés dans les applications et généralement très mal interprétés. Sur ce sujet, nous avons déjà publié un article concernant l'estimation des exposants de queues des distributions (cf. section suivante) mais de nombreux travaux sont en cours (voir les projets et axes d'avenir).

Mathématiques financières

E. Bacry et A. Kozhemyak, ont utilisé (en collaboration avec J.F. Muzy) le modèle log-normal de processus multifractal décrit précédemment pour modéliser les variations des séries chronologiques financières. Ils ont montré que ces processus ont de nombreux avantages par rapport aux autres modèles couramment utilisés en finance : ils sont à incréments stationnaires, peuvent être vus comme des processus limites de marches aléatoires (d'où un caractère causal), rendent compte parfaitement des propriétés multifractals des séries financières (sans faire intervenir de rapport d'échelle particulier) ainsi que de la structure complexe de corrélations des incréments aux différentes échelles. Ces processus permettent avec 3 paramètres uniquement (une fois la loi infiniment divisible choisie) de rendre compte de très nombreuses propriétés statistiques de séries financières très diverses.

E. Bacry et A. Kozhemyak se sont intéressés au problème de prédiction de volatilité historique et de valeur à risque. De nombreux modèles existent déjà et sont couramment utilisés. Cependant des travaux numériques sur de très grande quantité de données (réalisés par plusieurs équipes internationales) ont montré qu'aucune de ces méthodes ne surpasse les autres de façon systématique. Des tests extensifs ont été réalisés sur des données du CAC40 et sur les taux de change. Les résultats qui ont été obtenus (entièrement décrits dans la thèse d'Alexei Kozhemyak, publiés en partie dans un article et en cours d'écriture pour le reste) montrent que les modèles MRW surpasse assez nettement toutes les autres méthodes. De plus, l'utilisation de données hautes fréquences améliore sensiblement ces prédictions. Ceci est rendu possible, car les MRW permettent une modélisation des cours multi-échelles. Contrairement à la plupart des autres modèles, les MRW ne se calent pas sur une unique échelle de temps. A noter, que pour pouvoir utiliser les données hautes fréquences, nous avons dû étudier et modéliser de façon précise les comportements saisonniers (intra-journaliers) de la volatilité. Nous avons montré que ces comportements étaient mieux modélisés par un changement de temps que (ce qui est généralement fait) par une simple multiplication du processus par un terme saisonnier.

E. Bacry et A. Kozhemyak se sont intéressés aussi (en collaboration avec J.F. Muzy) au problème de l'estimation de l'exposant de décroissance des queues de distributions de ces modèles. En effet, en finance, de nombreux travaux semblent prouver que les moments

d'ordre 3 ou 4 explosent. Le modèle MRW quant à lui prédit une explosion à l'ordre 30 ! La cohérence de ces résultats est remarquablement obtenue dans le cadre des asymptotiques mixtes précédemment décrits.

Compression et Estimation en Bandelettes

Un problème central de la théorie de l'approximation est la dégradation de la précision asymptotique des procédures d'approximation pour des fonctions discontinues $f(x)$ où x est une variable multidimensionnelle. Cela est dû principalement au fait que les procédures d'approximation n'utilisent pas la régularité géométrique du support singulier de f . Cette question est centrale en traitement d'images, où les bases orthogonales utilisées jusqu'à maintenant sont séparables et ne s'adaptent donc pas à la géométrie des contours de l'image.

Suite aux travaux de E. Le Pennec et S. Mallat, C. Dossal a étudié au cours de sa thèse la construction d'estimateurs qui utilisent la régularité géométrique des images pour le débruitage et la déconvolution. Il a démontré que des estimateurs pénalisés dans des bases de bandelettes permettent d'obtenir un risque dont la décroissance asymptotique atteint la borne minimax pour des fonctions ayant des singularités le long de courbes régulières par morceaux. Une application à la tomographie pour l'imagerie médicale a été étudiée.

Au cours de sa thèse, G. Peyré a développé sous la direction de S. Mallat de nouvelles bases de bandelettes qui sont orthonormales et donc les fonctions de bases sont régulières. L'approche de G. Peyré repose sur une géométrie multiéchelle construite sur les coefficients d'une base orthonormale d'ondelettes. G. Peyré a démontré que ces nouvelles bases de bandelettes permettent d'obtenir des approximations non-linéaires de fonctions géométriquement régulières, avec une décroissance asymptotique de l'erreur d'approximation qui est optimale. Il a développé un algorithme de compression d'image dans des bases de bandelettes qui a une nettement meilleure performance qu'un algorithme de compression dans une base d'ondelettes. Par ailleurs ces nouvelles bases de bandelettes lui ont permis de mettre en place un algorithme de synthèse de textures.

Les techniques de bandelettes ont par ailleurs été développées par la société Let It Wave, qui a été créée en 2001 par Stéphane Mallat et 3 anciens doctorants de l'équipe de traitement du signal du CMAP : Christophe Bernard, Jérôme Kalifa et Erwan Le Pennec. Cette société a maintenant 40 employés et développe des puces électroniques qui implémentent ce type d'algorithmes pour l'amélioration de la qualité des images de la télévision haute définition. Plusieurs prix ont récompensés les innovations technologiques des produits développés par Let It Wave. Stéphane Mallat était en disponibilité de 2003 à 2006, période au cours de laquelle il a dirigé la société. Plusieurs brevets ont été déposés par Let It Wave sur des diverses applications de cette transformée au traitement de l'image et de la vidéo.

Décomposition d'images

Avec J. F. Aujol, A. Chambolle a étudié des problèmes de décomposition d'images, suivant une approche relativement simple et efficace suggérée par Y. Meyer : l'idée est de séparer un signal f en deux composantes $u + v$ en résolvant un problème d'inf-convolution $\min_{u+v=f} A(u) + B(v)$. Ici, A et B vont être des normes aux caractéristiques très différentes : A va être petite sur des signaux "réguliers" (variation totale, semi-norme H^1) tandis

que B sera petite sur des signaux oscillants (ce qui est le cas si B est la duale de la variation totale, ou semi-norme H^1 ...). Dans un premier travail avec G. Aubert et L. Blanc-Féraud, ils ont développé un algorithme et utilisé ces principes pour faire de la séparation image-bruit ou image-texture. Ensuite, ils ont étudié un peu plus systématiquement les propriétés de certaines normes duales de normes régularisantes. Ils ont aussi proposé une technique de séparation en trois composantes (régulière, texture, bruit) basée sur le même genre d'idée.

Algorithmes pour la restauration d'image

A. Chambolle a étudié les liens entre les méthodes de minimisation de la variation totale et les problèmes de segmentation binaire. En montrant que chaque ensemble de niveau d'un signal qui minimise la variation totale (plus un terme de rappel convexe) résout un problème de segmentation binaire (dont il est presque toujours solution unique), il a établi le lien entre divers algorithmes, et mis au point un algorithme de minimisation de la variation totale très rapide basé sur une succession de minimisations binaires, résolues par des techniques de flot maximal. J. Darbon et M. Sigelle, à Télécom-Paris, sont arrivés aux mêmes conclusions par une approche assez différente (probabiliste). En collaboration avec J. Darbon, A. Chambolle prépare un article sur l'application de ces techniques au calcul de surfaces libres, à l'évolution de front, améliorant une approche proposée par Boykov, Kolmogorov, Cremers et DeLong, initialement pour le calcul d'évolution de formes et l'estimation de formes dans les images (2D et 3D). Il y est notamment expliqué comment un code très simple (disponible sur internet) permet de minimiser très rapidement la variation totale d'une image et assez rapidement celle d'un signal 3D. En collaboration avec F. Ranchin et F. Dibos, A. Chambolle a aussi utilisé ces techniques pour un problème de segmentation et restauration d'un signal bidimensionnel (flot optique). Ces recherches étaient en partie financées par l'ACI "Multim" (Traitement des images multidimensionnelles).

Apprentissage par renforcement

Le développement des technologies d'information rend disponible des quantités croissantes de données qu'il faut sélectionner, traiter et à partir desquelles il s'agit de prendre des décisions adéquates. Aussi il apparaît important de développer des méthodes adaptatives pour la prise de décision en milieu complexe et incertain.

Rémi Munos travaille sur *l'apprentissage par renforcement*, domaine récent qui fait l'objet d'un intérêt croissant dans les communautés Automatique et Intelligence Artificielle. Son attrait est de pouvoir "apprendre" à générer des séquences de décisions afin de réaliser une tâche, sans que celle-ci soit explicitement programmée, mais seulement à partir de l'observation des échecs ou succès résultants des prises de décision passées.

Les applications potentielles sont nombreuses (robotique, finance mathématique, planification de trajectoires, ordonnancement ou optimisation de tâches séquentielles, ...). Au cours de sa thèse et de ses années postdoctorales, Rémi Munos a développé, pour le cas de variables continues, des algorithmes simples à implémenter et dont la convergence est assurée.

Il reste beaucoup à faire tant sur le plan théorique que numérique. Trois approches sont actuellement approfondies : les méthodes de discrétisation adaptatives des équations de

Hamilton-Jacobi-Bellman (avec utilisation de grilles “économiques” comme les grilles aléatoires), les méthodes d’approximation de la fonction valeur (par exemple avec des réseaux neuronaux ou des approximations par bandelettes, détaillées plus bas), et enfin les méthodes de recherche directe de stratégies dans des espaces de fonctions paramétrées.

Géométrie des sons - Débruitage sonore

La perception de sons inclut une notion de géométrie au travers des “mouvements” musicaux, “d’accélération”, etc... Cette géométrie apparaît dans le plan temps-fréquence sous forme d’évolution temporelle des structures temps-fréquence. Définir une transformée mathématique qui capture ce type de géométrie a été au centre de la recherche effectuée par G.Yu durant sa première année de thèse. Un premier travail utilisant des blocs (géométrie horizontale) de taille variable, a permis de réaliser un algorithme de débruitage tout à fait performant. Les résultats sont supérieurs aux algorithmes généralement utilisés (de type Ephraim Malah).

Un travail préliminaire a été présenté à ICASSP07, et un article complet est accepté pour publication à IEEE.

Projets et axes d’avenir

Géométrie spatio-temporelle des images Comprendre comment représenter et traiter les structures spatio-temporelles des vidéos reste un problème entièrement ouvert. De nombreuses études psychophysiques et physiologiques sur la vision montrent qu’il existe des aires corticales dédiées à ce type de traitements dans le cerveau. Suite au retour de Stéphane Mallat au CMAP, une nouvelle collaboration est initiée avec Jean Laurenceau (CNRS, Salpêtrière) qui travaille sur la psychophysique de la perception du mouvement. Le but est de mettre en place des nouveaux modèles mathématiques pour rapprocher les traitements géométriques de la vidéo des observations récentes faites en psychophysique et physiologie de la vision. Une application est actuellement à l’étude pour la suppression des artefacts de compression introduits par les standards MPEG2 et MPEG4. Il s’agit ici d’utiliser la géométrie spatio-temporelle des images pour régulariser et supprimer les effets de blocs introduits par ces standards de compression. D’un point de vue mathématique, ce problème est lié à la construction de représentations et de frames géométriquement adaptatives pour l’analyse harmonique de fonctions multidimensionnelles.

Asymptotiques mixtes pour les processus multifractals En collaboration avec Marc Hoffmann et Arnaud Gloter de l’université de Marne-La-Vallée, nous travaillons sur la généralisation et la formalisation mathématique rigoureuse des asymptotiques mixtes (précédemment décrits). Cela revient, dans un premier temps à étudier le comportement de normes Besov de fonctions dont le support croît avec la résolution. Nous sommes sur le point d’obtenir un premier résultat mais de nombreux problèmes restent ouverts. Des liens forts avec des problématiques variées (spectre de singularité, frontières Besov, estimateur minimax d’un signal dans du bruit) restent à clarifier. Les applications sont nombreuses, notamment en turbulence et en finance, où les estimateurs sur des signaux réels sont définis dans des cadres flous (notamment quant à l’asymptotique utilisée).

Responsabilités et distinctions scientifiques

Emmanuel Bacry :

- ▷ Membre du comité d'expert du CNRS sur les *méthodes en traitement du signal*
- ▷ Responsable de l'ACI *Nouvelles Interfaces des Mathématiques*

Antonin Chambolle :

- ▷ A. Chambolle est responsable de l'ANR "Mouvements d'interfaces, calcul et applications".
- ▷ membre du comité éditorial de la revue "IPI - Inverse Problems and Imaging", dont le rédacteur en chef est Lassi Päiväranta (Univ. Helsinki).
- ▷ membre du comité d'organisation de SIAM Conference on Imaging Science, Minneapolis, Mai 2006.
- ▷ membre du comité de sélection de "Scalespace 2005" (79 avril 2005, Hofgeismar, Allemagne) et fait partie tous les deux ans (années impaires) de celui de la conférence "ORASIS" pour les jeunes chercheurs en traitement d'images.

Stéphane Mallat :

- ▷ *Fellow IEEE* en traitement du signal, 2005.
- ▷ *Prix de Citation*, pour le chercheur Français le plus cité en informatique et sciences de l'ingénieur au cours des 20 dernières années, de l'INIST-CNRS, 2004.
- ▷ Editeur Associé du *Journal of Applied and Computational Harmonic Analysis*, du *Journal of Fourier Analysis and Applications*, du *SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation* et du *Journal of Constructive Approximation*.
- ▷ Président du Conseil Scientifique de l'ACI "Nouvelles Interfaces Mathématiques", du Ministère de la Recherche, en 2003 et 2004.

Collaborations scientifiques et industrielles

- ▷ ACI *Nouvelles Interfaces des Mathématiques* obtenue pour 2003-2006 en collaboration avec le laboratoire CNRS UMR 6134 de l'Université de Corté. Sujet du projet : *Modèles multifractals en finance*
- ▷ ANR 2005 : participation au projet ADAPT'MC : Méthodes de Monte Carlo adaptatives, dont le responsable scientifique est Eric Moulines.
- ▷ Programme interdisciplinaire CNRS "Traitement des connaissances, apprentissage et NTIC" : Modélisation de l'apprentissage de séquences dans les ganglions de la base par les outils de l'intelligence artificielle et "satisficing learning". 2003-2005.
- ▷ ANR sur les mouvements d'interfaces ("Mouvements d'interfaces, calcul et applications") qui fédère les équipes du CERMICS (ENPC, Régis Monneau), de l'université de Bretagne Occidentale (à Brest, Pierre Cardaliaguet), et de l'université de Tours (Guy Barles).

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

A. Chambolle. An algorithm for mean curvature motion. *Interfaces Free Bound.*, 6(2) :195–218, 2004.

A. Chambolle. An algorithm for total variation minimization and applications. *J. Math. Imaging Vision*, 20(1-2) :89–97, 2004. Special issue on mathematics and image analysis.

R.Munos *Algorithme d'Itération sur les Politiques avec approximation linéaire.* Journal Electronique d'Intelligence Artificielle, 2004.

A. Belahmidi and **A. Chambolle.** Time-delay regularization of anisotropic diffusion and image processing. *M2AN Math. Model. Numer. Anal.*, 39(2) :231–251, 2005.

E. Le Pennec, **S. Mallat**, *Sparse geometric image representation with bandelets*, IEEE Trans. on Image Processing, vol 14, no. 4, p. 423-438, Avril 2005.

E. Le Pennec, **S. Mallat**, *Bandelet image approximation and compression*, SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation, vol. 4, no. 3, pp 992-1039, 2005.

G. Peyré, S. Mallat, *Surface compression with geometric bandelets*, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'05), vol. 24, no. 3, 2005.

G. Peyré, S. Mallat, *Geometric Image Processing with Bandlets* Journal of Numerical Algorithms, to appear in 2007.

S. Mallat, *Geometrical Grouplets* Applied and Computational Harmonic Analysis, to appear in 2007.

G. Peyré, S. Mallat, *Surface compression with geometric bandelets*, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'05), vol. 24, no. 3, 2005.

E.Gobet, **R.Munos**, *Sensitivity analysis using Itô-Malliavin calculus and martingales. Application to stochastic optimal control.* SIAM Journal on Control and Optimization, 2005.

R.Munos, *Policy gradient in continuous time.* A paraître dans Journal of Machine Learning Research, 2005.

R.Munos, *Geometric variance reduction in Markov chains. Application to value function and gradient estimation.* Journal of Machine Learning Research, Volume 7, pp. 413-427, 2006.

J.-F. Aujol, G. Aubert, L. Blanc-Féraud and **A. Chambolle** *Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component* J. Math. Imaging Vision, vol. 22 n. 1 (2005), pp. 71–88.

J.-F. Aujol and **A. Chambolle** *Dual Norms and Image Decomposition Models* Int. J. Comp. Vision, vol 63 nr 1 (2005) pp. 85–104.

O.Bokanowski, S.Martin, **R.Munos** et H.Zidani, *An anti-diffusive scheme for viability problems.* Applied Numerical Mathematics, vol. 56(9), pp. 1147–1162, 2006.

C. Barrera-Esteve, F. Bergeret, **C. Dossal**, E. Gobet, A. Meziou, **R.Munos** et D. Reboul-Salze, *Numerical methods for the pricing of Swing options : a stochastic*

control approach. Methodology and Computing in Applied Probability, Vol. 8(4), pp. 517-540, 2006.

J.F.Muzy, E.Bacry, A.Kozhemyak

Extreme values and fat tails of multifractal fluctuations

Phys. Rev. E 73, 066114 (2006) .

E.Bacry, A.Kozhemyak, J.F.Muzy

Continuous cascade models for asset returns

A paraitre dans Journal of economic dynamics and control (2007).

Audio denoising by Time-Frequency Block Thresholding

G.Yu, S.Mallat, E.Bacry

A paraitre dans IEEE Trans. in Sig. Processing (2007).

Thèses et habilitations

R. Munos, Habilitation à diriger des recherches, *Université Pierre et Marie Curie*, spécialité Mathématiques Appliquées. Titre : *Contributions à l'apprentissage par renforcement et au contrôle optimal avec approximation*, 2004.

C. Dossal, thèse de doctorat : *Estimation de signaux géométriques et déconvolution*, Décembre 2005.

G. Peyré, thèse de doctorat : *Géométrie multi-échelles pour les images et les textures*, Décembre 2005.

A. Kozhemyak, thèse de doctorat : *Modélisation des séries financières à l'aide de processus invariants d'échelle. Application à la prédiction du risque.*, Décembre 2006.

Actes de conférence internationale avec comité de lecture

J. Bect, L. Blanc-Féraud, G. Aubert and **A. Chambolle** : A l^1 -unified variational framework for image restoration. 8th European Conference on Computer Vision, Prague, Czech Republic, May 11-14, 2004. Proceedings, Part IV (Lecture Notes in Computer Science 3024)

G. Peyré, S. Mallat, "Discrete bandelets with geometric orthogonal filters", Proc. of ICIP 2005, Septembre 2005.

C. Dossal, S. Mallat, "Sparse spike deconvolution with minimum scale", Proc. of SPARS'05, Novembre 2005.

A. Chambolle Total variation minimization and a class of binary MRF models. In Energy Minimization Methods in Computer Vision, EMMCVPR'05, St Augustine, Florida, Lecture Notes in Comp. Science 3757 (2005)

R.Munos, *Error Bounds for Approximate Value Iteration*. American Conference on Machine Learning, Pittsburgh, Etats -Unis, 2005.

F. Ranchin, **A. Chambolle**, and F. Dibos. Total variation minimization and graph cuts for moving objects segmentation. In *Proceedings of SSVM*, pages 743–753, 2007. to appear in LNCS, Springer.

Are asset return fat tails related to volatility long-range correlation ?

E.Bacry, A.Kozhemyak J.F.Muzy

Proc. Econophysics Colloquium (Canberra, Australie, Novembre 2005)

Publié dans Physica A (2006).

Audio signal denoising with complex wavelets and adaptive block attenuation

G.Yu, E.Bacry, S.Mallat

ICASSP07 (Hawai, 2007).

Prépublications soumises à une revue avec comité de lecture

C. Barrera-Esteve, F. Bergeret, C. Dossal, E. Gobet, A. Meziou, **R.Munos** et D. Reboul-Salze, *Numerical methods for the pricing of Swing options : a stochastic control approach*. Soumis à Methodology and Computing in Applied Probability, 2004.

Invitations à des conférences

Emmanuel Bacry

Wavelet And Multifractal Analysis 2004, Juillet 2004, Cargese, France.

European Physical Society - EPS-13, Juillet 2005, Bern, Suisse.

Econophysics Colloquium, Novembre 2005, Canberra, Australie.

Stéphane Mallat

International Conference in Applied Computational Harmonic Analysis, Vanderbilt, Mai 2004.

International Conference on Foundations of Computational Mathematics, Santander, Espagne, Juin 2005.

Logiciels

E. Bacry, *LastWave*. Langage de commande permettant des manipulations/visualisation de haut niveau en traitement du signal. Le logiciel est téléchargeable à l'adresse :

www.cmap.polytechnique.fr/~bacry/LastWave

LastWave connaît un certain succès et a de nombreux utilisateurs dans le monde entier. **Plus de 300 utilisateurs** se sont déjà enregistrés (il n'est pourtant pas nécessaire de s'enregistrer pour télécharger le logiciel).

La version 2.0 a vu son noyau totalement réécrit. Il est beaucoup plus rapide et l'écriture de scripts est devenu beaucoup plus concise et simple. De plus cette version permet une manipulation très puissante "à la matlab" des signaux ou images. La version 3.0 est sur le point d'être distribuée. Elle utilise désormais la librairie wxWidgets, ce qui lui permet d'être compatible avec les systèmes Mac, Linux/Unix et Windows.

Brevets

- ▷ **S. Mallat**, "Method and apparatus for enhancing signals with multiscale grouping bandelets", Novembre 2005, PCT EP05/013536
- ▷ J. Bruna and **S. Mallat**, "Method and apparatus for robust super-resolution video scaling", Avril 2006, PCT EP2006/004316
- ▷ C. Bernard, J. Bruna, E. Laveau, **S. Mallat**, "Low delay video enhancement", Oct. 10th 2006, PCT EP2006/003895

Autres

Deux émissions radiophoniques (1/2h chacune) sur la *géométrie fractale et la finance*, avec B.Mandelbrot. "Science Frictions", France-Culture, Juin 2005.

Optimisation de formes et matériaux

Responsable : Grégoire Allaire

Professeur à l'Ecole Polytechnique

Chercheurs confirmés

- ▷ Grégoire Allaire, Professeur à l'Ecole Polytechnique
- ▷ Robert Brizzi, Ingénieur de recherche CNRS
- ▷ Antonin Chambolle, Directeur de recherche CNRS
- ▷ Vincent Giovangigli, Directeur de recherche CNRS
- ▷ François Jouve, Chargé de recherche CNRS (jusqu'en 2006)
- ▷ Sylvie Mas-Gallic, Professeur à l'Université d'Evry
- ▷ Olivier Pantz, Professeur chargé de cours à l'Ecole Polytechnique.

Post-doctorants

- ▷ Houari Mechkour (09/05-08/07), post-doc CEA LIST, puis ANR
- ▷ Nicolas Van Goethem, post-doc à l'Ecole Polytechnique (2007)
- ▷ Sergio Gutierrez, post-doc à l'Ecole Polytechnique (2005)
- ▷ Mariapia Palombaro, post-doc à l'Ecole Polytechnique (2005)
- ▷ Karime Trabelsi, chargé d'enseignement à l'Ecole Polytechnique (2005-2006)
- ▷ Chiara Zanini (Trieste) de Nov 2006 à Fév. 2007
- ▷ Luca Lussardi (Brescia) de Janvier à Avril 2007

Doctorants encadrés au laboratoire

- ▷ Karima El Ganaoui (CEA Saclay) (jusqu'en 2006)
- ▷ Frédéric de Gournay (X/CMAP) (jusqu'en 2005)
- ▷ Seth Dworkin (Yale University) (printemps 2007)
- ▷ Gloria Faccanoni (CEA Saclay)
- ▷ Thomas Abballe (CEA Saclay)
- ▷ Jonathan Chetboun (Dassault Aviation)

Activités de recherche

La thématique de cette équipe s'est enrichie par l'arrivée de nouveaux membres et un nom plus approprié est maintenant "Mécanique, matériaux et optimisation de formes". Cette équipe s'intéresse donc aux questions de modélisation et d'analyse mathématique, ainsi que de simulation numérique de problèmes issus de la mécanique (des solides, comme des fluides) et de la science des matériaux. En particulier, l'optimisation de formes est un domaine d'excellence de l'équipe. Par ailleurs, les aspects multi-échelles, réduction de modèles et frontières libres sont souvent centraux et communs à de nombreux projets.

Optimisation de formes

L'équipe a une importante activité en optimisation de formes, et particulièrement en optimisation de structures. Elle avait été pionnière dans l'utilisation de l'homogénéisation dans ce domaine, mais depuis les techniques utilisées se sont largement diversifiées (champ de phase, H -mesures, lignes de niveaux, gradient topologique). Les champs d'applications de ces techniques sont aussi beaucoup plus larges que la seule optimisation structurelle et les interactions potentielles sont très nombreuses : citons par exemple le traitement d'images, la mécanique de la rupture, les problèmes inverses. Cette compétence de l'équipe est de plus très utile pour l'enseignement pluri-disciplinaire de l'Ecole Polytechnique (voir par exemple le cours [50] en sciences de l'ingénieur). Un site web est dédié à cette activité : <http://www.cmap.polytechnique.fr/~optopo>.

Optimisation de structures par homogénéisation

Historiquement ce fut la première méthode d'optimisation topologique et pas seulement géométrique des structures. Autrement dit, contrairement à la méthode géométrique d'Hadamard qui se contente de déplacer des bords pré-existants de la forme au cours de l'optimisation, la méthode d'homogénéisation optimise aussi la topologie (par exemple le nombre de composantes connexes du bord). L'idée principale de la méthode d'homogénéisation est d'optimiser une densité de matériau "continue" plutôt qu'une fonction caractéristique "discrète" représentant la forme. De manière rigoureuse cette densité est introduite par relaxation du problème d'optimisation. La théorie de l'homogénéisation permet de calculer explicitement cette relaxation et explique que les formes optimales sont en fait des matériaux composites poreux. Les fonctions objectifs considérés dans ces études sont la compliance (travail des forces extérieures), une fréquence propre de vibration, des sommes de celles-ci (cas dits multi-chargements).

En plus de ses succès théoriques (existence de formes optimales "composites" ou relaxées, conditions d'optimalité, etc.) la méthode d'homogénéisation a donné naissance à des algorithmes numériques extrêmement performants d'optimisation topologique que l'on retrouve dans de nombreux logiciels industriels et commerciaux.

Malgré ses succès la méthode d'homogénéisation n'est pas complètement opérationnelle pour des fonctions objectifs plus compliquées que celles ci-dessus, par exemple un moindre carré pour atteindre un déplacement cible, un critère de Von Mises sur les contraintes mécaniques. Il est possible de faire des approximations (on parle de relaxation partielle) mais

nos travaux ont montré la limite de cette approche (les microstructures optimales sont inconnues et la pénalisation fonctionne moins bien). C'est en partie pour ces raisons qu'ont été développés les méthodes ci-dessous.

Optimisation de formes par homogénéisation de faible amplitude

Pour simplifier la difficulté de calculer la relaxation exacte d'un problème d'optimisation du mélange de deux matériaux, G. Allaire et S. Gutierrez [10], [56] ont rajouté l'hypothèse que les deux phases ont un faible contraste, c'est-à-dire que leurs propriétés mécaniques sont très proches. Grâce à cette hypothèse on peut faire un développement à l'ordre 2 (inclus) par rapport à ce petit paramètre de contraste. Le problème ainsi simplifié n'est toujours pas bien posé, mais sa relaxation est plus facile à calculer car elle ne nécessite pas de connaître l'ensemble de tous les matériaux composites que l'on peut obtenir en mélangeant les deux phases en proportions données. En effet, il suffit de pouvoir caractériser l'ensemble des H -mesures de suites de fonctions caractéristiques (notion due à P. Gérard et L. Tartar).

En plus de calculer cette relaxation à l'ordre 2, G. Allaire et S. Gutierrez ont montré que la relaxation et le développement par rapport au contraste commutent et que, de manière surprenante, des microstructures optimales peuvent toujours être choisies dans la classe des matériaux laminés de rang 1 (même en élasticité et en multi-chargements). Il en résulte une très grande simplification des algorithmes numériques qui donnent de bons résultats, du moins tant que le contraste est faible ! En particulier, cela a permis le premier traitement rigoureux de fonctions objectifs dépendant des déformations ou des contraintes mécaniques.

Optimisation de formes par la méthode des lignes de niveaux (level-set)

G. Allaire et F. Jouve (en collaboration avec A.M. Toader de l'Université de Lisbonne) ont développé une méthode numérique d'optimisation de structures en utilisant une représentation des formes par level-set. L'idée est de reprendre les résultats fondateurs d'Hadamard au début du 20e siècle et de Murat-Simon de la fin des années 70 concernant l'optimisation de formes dite "classique" (aussi appelées méthodes de variation de frontière ou de variation de domaine), et de les adapter à une représentation des formes du type "courbe de niveau" introduite par Osher et Sethian dans un autre cadre. Les formes sont capturées sur un maillage fixe, et la dérivée de forme est utilisée comme une vitesse de transport dans une équation d'Hamilton-Jacobi. On évite ainsi les inconvénients des méthodes classiques d'optimisation de formes dûs aux problèmes de remaillage des domaines successifs.

La méthode a été implémentée et testée avec succès 2d et en 3d, pour des fonctions-objectif quelconques avec comme exemples la compliance, un écart quadratique à un déplacement-cible et des termes additionnels de contrainte sur le poids global ou sur le périmètre. Le cas des forces extérieures suiveuses est également abordé à travers deux exemples : un champ de forces constant appliqué au bord variable de la structure (simulant un "vent" de direction et d'intensité constante), ou bien un champ de pression – i.e. parallèle à la normale extérieure du domaine variable. Enfin le cas de l'élasticité non-linéaire avec un matériau hyperélastique en grandes déformations est traité. La mise en œuvre de cette méthode est infiniment plus simple que celle d'homogénéisation et tout aussi rapide car elle ne requiert que la résolution successive de problèmes d'élasticité ainsi qu'éventuellement des problèmes adjoints associés lorsque la fonctionnelle à minimiser n'est pas l'énergie élastique.

Contrairement à la méthode d'homogénéisation, dans sa version "de base" elle n'a aucune assurance de trouver un optimum global de la fonctionnelle à optimiser, et les solutions obtenues dépendent fortement de la configuration initiale. En effet, la topologie peut changer par fusion et disparition de trous mais la nucléation de nouveaux trous est impossible en 2-d. Cette barrière topologique est la cause principale de convergence vers des minima locaux qui ne sont pas globaux. Cet inconvénient ne se retrouve pas en 3-d où il y a plus de liberté géométrique pour créer des trous par pincement ou évidemment d'une structure pleine. Néanmoins, grâce à l'ajout d'une technique de gradient topologique (introduite par divers auteurs dont M. Masmoudi et J. Sokolowski) il est possible de décider où et quand il faut créer des trous infinitésimaux. En 2-d ce couplage de technique permet de s'affranchir de la quasi-totalité des minima locaux [7].

Avec F. de Gournay, G. Allaire et F. Jouve ont alors étudié une multitude de problèmes difficiles en optimisation de structures. La méthode des lignes de niveaux a permis de faire sauter un certain nombre de verrous techniques. Citons par exemple, le cas des fréquences propres de vibrations multiples [43], les problèmes multi-chargements [3], l'optimisation robuste [44], la minimisation des contraintes [16].

F. Jouve et H. Mechkour ont travaillé, dans le cadre d'un contrat avec le CEA-LIST, à la conception optimale de micro mécanismes. Il s'agit de dispositifs de taille inférieure au millimètre qui sont gravés dans le Silicium (par exemple). A cette échelle, les assemblages mécaniques traditionnels (rotules, articulations...) sont impossibles à effectuer et ces micro-machines doivent à leur seule forme propre leurs propriétés mécaniques. La méthode des courbes de niveaux a été adaptée, en particulier par l'introduction de nouvelles fonctions-coût utilisées dans le domaine de la conception de tels mécanismes. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus par l'outil développé au CEA, basé sur des algorithmes évolutionnaires. Une ébauche de couplage entre les deux méthodes a été proposée (cf. [66, 68, 67, 54]).

F. Jouve travaille sur l'optimisation de composants électroniques analogiques, grâce à un financement ANR (Doprocof) à partir de janvier 2006. Il s'agit d'une collaboration avec des physiciens de Limoges (S.Verdeyme de l'IRCOM, T.Chartier du SPCTS, M.Aubourg et S.Bila de XLIM). Le but du projet est de mettre au point un procédé technologique et des outils de conception permettant de maîtriser la réalisation de dispositifs passifs hautes performances en bandes millimétriques et térahertz. Les applications se trouvent dans le domaine des composants très spécialisés embarqués par exemple dans les satellites de télécommunication. Nous avons obtenu fin 2006 des premiers résultats à partir du couplage du code de calcul direct fourni par nos partenaires de Limoges avec le code d'optimisation de formes par level set que nous avons développé. Le post-doc de H. Mechkour sur le sujet est financé par l'ANR.

Optimisation de formes par une méthode de champ de phase

Une autre approche de l'optimisation de formes a aussi été étudiée par B. Bourdin et A. Chambolle. Elle repose sur une représentation en champ de phase et a été développée pour résoudre le problème de compliance optimale avec des forces de pression (qui suivent le bord inconnu de la forme), voir les proceedings [59] et [60].

Post-traitement de la méthode d'homogénéisation par projection

O. Pantz et K. Trabelsi ont développé un nouveau post-traitement de la méthode d'optimisation par homogénéisation. Il permet, pour une forme composite donnée, de déterminer une structure réalisable de comportement proche. Cette méthode présente l'avantage par rapport à la méthode traditionnelle de pénalisation d'être très peu gourmande en temps de calcul et d'autoriser un contrôle précis des détails de la forme finale. Elle nous a été inspirée par les résultats que nous avons obtenus en combinant trois méthodes d'optimisation classiques : topologique, homogénéisation et géométrique et qui tendait justement à reproduire indirectement la structure microscopique du composite optimal (voir [48]). Ce travail a fait l'objet d'un article soumis à SMO (Structural and Multidisciplinary Optimization).

Homogénéisation

Homogénéisation et applications en physique

G. Allaire et ses collaborateurs (Y. Capdeboscq, M. Palombaro, A. Piatnitski, M. Vanninathan) s'intéressent à l'homogénéisation de problèmes en milieux périodiques avec perturbations singulières. Ce type de problème n'était pas couvert par la théorie classique de l'homogénéisation telle qu'elle a été développée dans les années 70 et 80. En effet, la mise à l'échelle singulière des équations fait que tous les termes principaux se retrouvent à l'échelle microscopique dans le problème dit de cellule et que la solution exacte n'a pas le comportement habituel en homogénéisation d'être la somme d'une solution d'un problème homogénéisé (à coefficients effectifs) et d'un correcteur, petit, solution d'un problème de cellule. Au contraire, le comportement typique d'une solution exacte est d'être le **produit** d'une solution homogénéisée et d'une solution oscillante d'un problème de cellule.

Les difficultés mathématiques de convergence du procédé d'homogénéisation, mais aussi de construction de développements asymptotiques, sont importantes (on ne peut pas espérer de convergence fortes des suites de solutions) et des outils nouveaux sont nécessaires pour résoudre ces problèmes. Les principaux outils introduits sont au nombre de eux : la convergence à deux échelles et les ondes de Bloch.

Il se trouve qu'un certain nombre de problèmes importants de modélisation asymptotique en physique entrent dans cette catégorie et n'avaient pas trouvé de solutions satisfaisantes auparavant. Citons le transport ou la diffusion neutronique multi-groupes [4], la notion de masse effective d'un électron en physique du solide [5, 11, 12], la convection-diffusion-réaction en milieu poreux [14, 70], le transfert radiatif en milieu perforé [62]. L'intérêt des travaux réalisés est d'une part de justifier des résultats d'homogénéisation, et d'autre part (et surtout, du point de vue pratique) de proposer des modèles macroscopiques et des formules de coefficients effectifs qui sont nouveaux dans la littérature. Ces travaux ont donc des applications numériques importantes, comme illustré sur des exemples simples dans certaines des publications sus-citées.

Méthodes d'éléments finis multi-échelles

G. Allaire et R. Brizzi ont mis au point un algorithme de simulation "directe" de phénomènes multi-échelles permettant d'effectuer une procédure d'homogénéisation numérique. Les ap-

plications visées sont des équations de transport (diffusion) stationnaire ou non, intervenant par exemple dans l'étude de la diffusion d'un polluant en milieu poreux.

L'approche traditionnelle des calculs homogénéisés consiste à établir dans un premier temps des coefficients effectifs ou macroscopiques (obtenus à l'aide de la structure fine du milieu), puis à résoudre dans un deuxième temps un problème homogénéisé (c'est-à-dire utilisant les coefficients effectifs que l'on vient de déterminer) sur un maillage grossier (par rapport aux échelles des hétérogénéités initiales). Cette approche permet d'obtenir assez facilement le comportement moyen des variables du modèle, mais est incapable de prédire leur fluctuations locales aux échelles fines des hétérogénéités. On peut corriger cela grâce à la notion de correcteurs en homogénéisation, mais cela est restreint en général aux milieux périodiques.

L'idée nouvelle ici est de résoudre directement le problème hétérogène sans passer par une étape de détermination des coefficients effectifs, et en utilisant une base spéciale d'éléments finis multi-échelles. Pour que le coût de calcul reste raisonnable la dimension de cette base sera celle d'un calcul sur un maillage grossier. Par contre, les fonctions de cette base ne seront pas de simples polynômes mais le résultat d'un calcul hétérogène local réalisé sur un maillage fin. Ces calculs fins, étant indépendants les uns des autres et réalisés sur des sous-maillages disjoints, peuvent être réalisés en parallèle et sont aussi peu coûteux. Toute l'information sur les hétérogénéités fines du milieu est ainsi "codée" dans ces fonctions de bases dites multi-échelles. On retrouve donc, non seulement le comportement homogénéisé, mais aussi les fluctuations fines.

Dans la lignée des premiers travaux de Hou et Wu, G. Allaire et R. Brizzi [8] ont proposé une nouvelle méthode d'éléments finis multi-échelles qui utilise une base spéciale de fonctions construites par composition des bases classiques d'éléments finis avec les fonctions oscillantes ou correcteurs microscopiques de la théorie classique de l'homogénéisation. Ces dernières sont déterminées numériquement dans chaque élément du maillage grossier. Cette nouvelle approche rend aisée l'implémentation de méthodes d'ordre supérieur. L'analyse de la convergence de la méthode est ainsi plus simple car elle revient à appliquer le changement de variable proposé aux résultats classiques de convergence sur le maillage grossier.

L'utilisation de cette nouvelle méthode pour la simulation numérique de problèmes paraboliques à coefficients fortement oscillants a été présenté lors des journées scientifiques du GDR MOMAS à Luminy (nov. 2005) et a fait l'objet d'un rapport interne CMAP-598 (05/2006). La prochaine étape sera d'étendre la méthode aux équations de Darcy et de convection-diffusion, ou aux problèmes aux limites posés dans des domaines à frontières fortement oscillantes.

D'autre part, nous étudions les problèmes d'homogénéisation de termes sources dans le cadre du GDR MOMAS. La modélisation du problème de stockage de déchets radioactifs et son analyse asymptotique (en collaboration avec Y. Capdeboscq et M. Briane) ont permis de trouver des conditions aux limites effectives jouant le rôle de terme source. Cette étude sera soumise à publication prochainement.

Fluides complexes

Simulation d'écoulements diphasiques avec interfaces

En collaboration avec le CEA Saclay, G. Allaire travaille avec G. Faccanoni et S. Kokh sur la simulation numérique d'écoulements diphasiques avec interfaces. Le but de ces travaux est de proposer une modélisation d'écoulements diphasiques, en traitant explicitement les interfaces entre phases séparées, et sans utiliser de modèle homogénéisé (qui considère qu'en tout point de l'espace il y a cohabitation des deux phases). Dans le même temps nous proposons une méthode numérique pour la résolution des équations de ce modèle. Cette approche de simulation numérique directe évite en partie les problèmes de lois de fermeture, mais nécessite de développer des méthodes numériques robustes et efficaces de simulation des interfaces. Une motivation importante de cette nouvelle approche est la compréhension de la crise d'ébullition sur une paroi chauffante qui marque le passage d'un régime d'ébullition nucléée à un régime d'ébullition en film. Ce phénomène microscopique a des conséquences macroscopiques importantes à cause de la brutale augmentation de température de la paroi pouvant conduire à sa dégradation presque instantanée.

Pour un coût de calcul modéré, une approche d'interface diffuse, avec une zone de mélange autour de l'interface, permet de capturer sur un maillage eulérien des fronts à la topologie complexe et changeante. En l'absence de changement de phase, le modèle proposé repose sur 5 équations : 2 conservations de la masse (1 pour chaque phase), 1 conservation de la quantité de mouvement globale, 1 conservation de l'énergie globale, et 1 équation non conservative sur le taux de présence (ou fraction volumique) d'une des deux phases. Ce dernier paramètre peut aussi être vu comme un "paramètre d'ordre" dans les méthodes de "champ de phase" ("phase field" en anglais).

G. Allaire, G. Faccanoni et S. Kokh ont montré que l'on peut y ajouter des termes sources de relaxation vers l'équilibre thermodynamique qui modélisent ainsi le phénomène du changement de phase. Ces termes sources sont précisément les conditions d'optimalité pour la maximisation d'une entropie de mélange qui est équivalente à une opération classique en optimisation appelée inf-convolution et pour laquelle il existe des algorithmes efficaces. Dans le cas de lois d'état simples (comme pour les gaz parfaits) on peut calculer à la main le maximum de l'entropie de mélange, c'est-à-dire que la fraction volumique de chaque phase est une fonction explicite des quantités moyennes. Pour des lois d'état plus générales (comme celles issues de tables expérimentales) cette maximisation peut se faire numériquement, une fois pour toutes, avant de faire des simulations numériques d'écoulements.

Lorsque les temps de relaxation des termes sources de retour vers l'équilibre thermodynamique tendent vers zéro, le système à 5 équations se simplifie et devient le système à 3 équations de la dynamique des gaz (équations d'Euler) avec comme loi d'état celle du mélange obtenue par maximisation de l'entropie. Il est bien connu que cette loi d'état est en partie dégénérée au sens où l'entropie est concave mais pas strictement concave. Ceci peut poser un problème car la stricte concavité de l'entropie est la condition suffisante usuelle qui assure que le système d'Euler est hyperbolique (cette dernière propriété étant nécessaire pour la résolution théorique et numérique des équations). Il était connu que les vitesses caractéristiques (valeurs propres de la matrice jacobienne) sont néanmoins réelles mais il n'était pas clair que la vitesse du son était non nulle, ce qui implique l'existence d'une base de vecteurs propres réels et donc l'hyperbolicité du système. Dans [69] on démontre que,

sous des hypothèses génériques, le système d'Euler diphasique est effectivement hyperbolique [69]. Ce résultat permet aussi de résoudre le problème de Riemann de manière unique grâce au critère entropique de Liu. Cependant cette résolution est très compliquée en pratique à cause de la discontinuité de certaines quantités thermodynamiques (comme la vitesse du son) au travers d'un changement de phase (on parle de transition de phase d'ordre 1).

C'est pourquoi d'un point de vue numérique nous proposons une approche par décomposition d'opérateurs. Chaque pas de temps est divisé en deux demi-pas de temps. Dans une première étape on résout le modèle homogène à 5 équations, c'est-à-dire sans les termes sources, en discrétisant par une méthode de volumes finis où les flux numériques sont calculés à l'aide d'un solveur de Riemann approché de type Roe. Puis dans une deuxième étape on prend en compte les termes sources de changement de phase en projetant la solution sur la variété d'équilibre thermodynamique. Autrement dit, connaissant les variables thermodynamiques phasiques on maximise l'entropie de mélange ce qui donne de nouvelles valeurs des concentrations phasiques. On obtient ainsi un algorithme stable et efficace de résolution numérique où chaque pas de temps est divisé en deux étapes : hydrodynamique sans termes sources, puis relaxation des quantités thermodynamiques en maximisant l'entropie du mélange.

Fluides réactifs

Les recherches effectuées ont eu principalement pour objet la modélisation, l'analyse mathématique, l'analyse numérique, et la simulation numérique d'écoulements réactifs. On s'est intéressé notamment aux équations des mélanges gazeux issues de la théorie cinétique et aux flammes laminares, en particulier lorsque la cinétique chimique est complexe.

Théorie cinétique des mélanges partiellement ionisés

On s'est intéressé à la modélisation physique des plasmas multiespèces dissipatifs dans le cadre de la théorie cinétique des gaz. Nous avons écrit les lois de conservation, les relations thermodynamiques, les flux de transport, et les taux de production chimiques. Nous nous sommes également intéressés à la définition et aux propriétés des coefficients de transport ainsi qu'à la structure des systèmes linéaires de transport correspondants. La présence d'un champ magnétique complique considérablement la structure des flux dissipatifs qui deviennent anisotropes. La diffusion des espèces chimiques, par exemple, s'effectue différemment selon l'alignement des gradients avec le champ magnétique.

Stabilité asymptotique pour les plasmas ambipolaires

L'approximation ambipolaire est couramment utilisée dans la modélisation des plasmas dissipatifs multiespèces. Dans cette approximation les équations qui régissent l'écoulement peuvent être symétrisées et nous avons établi des théorèmes d'existence globale autour d'états d'équilibre ainsi que leur stabilité asymptotique. Nous avons également démontré que ces solutions ont une limite lorsque la masse de l'électron tend vers zéro.

Flammes de type Bunsen sur des maillages non structurés

Une nouvelle méthode de type Streamline-diffusion, adaptée au cas des écoulements réactifs à faible nombre de Mach, a été appliquée avec succès aux flammes de type Bunsen dont la chimie est complexe. Nous avons ainsi simulé numériquement des flammes d'hydrogène et de méthane avec des cinétiques chimiques et des modèles de transport détaillés en

utilisant les outils d'estimation d'erreur à posteriori pour l'adaptation des maillages.

Problème de Cauchy pour les plasmas dissipatifs

Les équations générales des plasmas dissipatifs comportent de nombreuses difficultés. Ces difficultés sont notamment dues aux flux de transport qui diffèrent selon l'orientation des gradients par rapport aux champs magnétique. Il y a par exemple cinq viscosités de cisaillement différentes. Nous avons établi que le problème de Cauchy pour les plasmas dissipatifs monotempératures les plus généraux est bien posé localement en temps au moyen de symétrisations partielles.

Combustion dans les propulseurs d'Ariane

Les propulseurs à poudre d'Ariane sont une source de problèmes mathématiques, physiques et numériques. On s'est intéressé à la structure de flammes monodimensionnelles comportant une phase solide et une phase gazeuse. Les simulations numériques effectuées ont permis de mettre en évidence une structure multiéchelle ainsi que des limites d'extinction à basse pression

Entropies d'ordre supérieur pour les fluides

Les entropies d'ordre supérieur sont des estimateurs d'entropie cinétique pour les modèles fluides. Ces grandeurs sont suggérées par la théorie cinétique des gaz et par la méthode de Bernstein. Les entropies d'ordre supérieur sont quadratiques en les dérivées de la densité ρ , de la température T et la vitesse v , avec des coefficients dépendants de ρ et de T . Nous avons établi qu'elles satisfont à des principes entropiques lorsque $\|\log \rho\|_{BMO}$, $\|\log T\|_{BMO}$, et $\|v/\sqrt{T}\|_{L^\infty}$ sont assez petits, pourvu que la dépendance en la température de la conductivité thermique et de la viscosité soit celle de la théorie cinétique. On obtient dans cette situation de nouvelles estimations a priori pour des modèles fluides incompressibles ou compressibles.

Impact de la viscosité volumique

L'approximation de Stokes est couramment utilisée pour la modélisation des fluides compressibles. Cette hypothèse consiste à négliger la viscosité volumique κ en supposant que le rapport κ/η est petit devant l'unité, η désignant la viscosité de cisaillement. La théorie cinétique et les mesures expérimentales indiquent pourtant que ce rapport κ/η est toujours d'ordre unité—voire plus grand—pour les gaz polyatomiques, qui sont les gaz les plus importants. Nous nous sommes donc intéressés à l'impact de la viscosité volumique lors de l'interaction entre une onde de choc et une bulle d'hydrogène. La théorie et les simulations numériques démontrent l'importance de la viscosité volumique pour les écoulements rapides.

Méthodes particulières

S. Mas-Gallic travaille sur les méthodes lagrangiennes et leur utilisation dans des calculs complexes de mécanique des fluides en milieux poreux. Grâce à des nombreuses discussions avec S. Huberson, collègue spécialiste de CFD, elle a pu s'initier aux problèmes de pollution des nappes phréatiques par des infiltrations. Les modèles considérés doivent être complexes et les équations aux dérivées partielles très fortement couplées. Il s'agit d'obtenir des modèles à peu près réalistes qui permettent de faire des calculs raisonnables et dont les résultats donnent une idée la plus proche possible de la réalité.

Pour ce faire, diverses méthodes numériques doivent être utilisées dans les calculs et la méthode de vitesse de diffusion est, puisque il s'agit d'une méthode lagrangienne, très bien adaptée aux calculs en milieux poreux du sous-sol dont la géométrie est inconnue. Par ailleurs, son couplage simple avec d'autres méthodes numériques plus classiques comme les éléments finis par exemple en fait un outil indispensable.

S. Mas-Gallic a obtenu une délégation au CNRS pour travailler sur ce projet et s'attacher à l'étude de la diffusion numérique introduite lors du remaillage indispensable à cause des différences des échelles dans les couches ; cette diffusion numérique doit être mesurée puis contrôlée. Cette étude à la fois mathématique et numérique doit permettre de passer d'une distribution de mesures de Dirac à une autre en perdant le moins d'information possible. Une collaboration avec d'une part S. Huberson, spécialiste de CFD, et d'autre part avec P.-L. Lions sur le plan mathématique devrait lui permettre de faire un grand pas dans cette étude.

Mécanique et matériaux

Modélisation des structures minces

O. Pantz étudie le comportement mécanique de structures minces élastiques non-linéaire. Il a montré en particulier que le modèle tridimensionnel usuel peut-être remplacé par un modèle bi ou monodimensionnel lorsque l'une des grandeurs caractéristiques de la structure est très petite relativement aux autres. Afin de justifier ce procédé, deux voies différentes ont été développées : tout d'abord une méthode formelle, qui consiste à résoudre une suite de problèmes de minimisation. Cette approche diffère des méthodes formelles précédentes qui s'attachaient à résoudre une suite d'équations aux dérivées partielles. Cette nouvelle formulation s'avère plus aisée à manipuler et peut être appliquée à une grande variété de problèmes différents. Par ailleurs, nous avons obtenu des résultats rigoureux de convergence des solutions du problème complet tridimensionnel vers les solutions du problème mono ou bidimensionnel. Ces résultats ont été obtenus pour les plaques en flexion d'une part et pour les poutres en flexion-torsion d'autre part.

Modélisation des contacts et auto-contacts sans frottements en mécanique des milieux déformables

La modélisation des contacts et auto-contacts sans frottements en mécanique des milieux déformables, malgré son importance, a été curieusement l'objet de très peu de travaux théoriques. En regard, le nombre de travaux purement numériques traitant de ce sujet est impressionnant. De nombreux algorithmes numériques ont été développés de manière heuristique pour répondre aux besoins des industriels. La plus importante contribution théorique a été apportée par Ciarlet et Necas en 87. Cependant, leurs travaux ne s'appliquent pas aux structures minces et n'assurent que l'injectivité presque partout des déformations, ce qui est légèrement plus faible que la non interpénétration. O. Pantz dans [48] a développé une nouvelle modélisation, applicable aussi bien aux structures de volume non nul qu'aux structures minces.

Simulation Numérique des contacts entre solides déformable en grandes déformations

Ce travail a pour objet de proposer de nouvelles méthodes afin de prendre correctement en compte la contrainte de non (auto)intersection (ou non inter pénétration) entre solides déformables applicables à tout types de structures (en particulier les structures minces). Deux algorithmes ont été proposés et implémentés. Un premier, inspiré de nos travaux théoriques sur le sujet est basé sur l'introduction d'une fonction de pénalisation des (auto)intersections entre les solides. La minimisation de la fonctions de pénalisation introduite par un algorithme de type gradient permet d'éliminer les intersections et auto-intersections entre solides et de résoudre le problème difficile de projection sur l'espace des déformations admissibles. Cependant, cet algorithme est très gourmand en temps de calcul et se limite donc au cas bidimensionnel. Un article sur ce thème a été soumis à International Journal of Non-Linear Mechanics. Une deuxième méthode de type approximation interne permet de ramener le problème de minimisation de l'énergie du système sur l'espace, non convexe, des déformations admissibles à la résolution d'une suite de problèmes de minimisation sous contraintes convexes. Par rapport aux méthodes classiques, cette approche présente l'avantage d'être robuste, de traiter tout type de structures (minces ou non) ainsi que les intersections entre solides distincts mais également les auto-intersections dans une unique formulation extrêmement simple. Elle a été intégrée par J.F. Gerbeau et K. Traoré de l'équipe REO à un code fluide/structure et appliquée à la gestion des contacts entre valves cardiovasculaires.

Calcul et évolution d'interfaces

A. Chambolle a travaillé ces dernières années sur des aspects numériques et théoriques des mouvements d'interfaces. Après avoir établi un lien entre des problèmes de minimisation de la variation totale (introduits pour la restauration d'images) et certaines techniques d'approximation du mouvement par courbure moyenne (introduites dans les années 90 par Almgren, Taylor et Wang, et indépendamment par Luckhaus et Sturzenhecker), basées sur la minimisation du périmètre, il a pu avec ses collaborateurs en déduire de nombreux résultats nouveaux (convergence des méthodes citées plus haut, approximation du mouvement des cristaux, mouvements avec terme forçant de type stochastique, à volume constant, étude de certains types de minimiseurs du périmètre [ensembles de "Cheeger"]...)

Par ailleurs, cette technique introduit aussi une méthode numérique simple et élégante pour calculer des formes minimisant le périmètre dans un champ extérieur. A. Chambolle a alors exploité l'analogie avec des méthodes d'optimisation discrète (utilisées depuis peu en traitement d'image pour résoudre le même genre de problèmes), pour mettre au point de nouvelles techniques de calcul d'évolutions de surfaces par "courbure cristalline" — cf [61], où un algorithme rapide de minimisation d'une variation totale cristalline est étudié, et un travail en préparation avec J. Darbon (UCLA).

Mécanique de la rupture

A. Chambolle a travaillé sur les modèles variationnels d'évolution de fracture, en rupture fragile (modèle de Francfort et Marigo). Ses contributions vont de résultats théoriques sur les fonctions "SBD" (déplacements linéaires-élastiques avec sauts), à des résultats de rigidité pour des matériaux fracturés mais dont l'énergie élastique interne est nulle, et une

approche un peu générale du problème de l'initiation des fractures, sans hypothèse géométrique *a priori* (ces deux dernières études sont réalisées en collaboration avec A. Giacomini et M. Ponsiglione, avec le soutien du réseau MULTIMAT).

Simulation numérique de l'endommagement

G. Allaire, F. Jouve et N. Van Goethem (post-doc du réseau MULTIMAT) travaillent sur la simulation numérique de la propagation de l'endommagement dans une structure mécanique. Le modèle utilisé est celui proposé par G. Francfort et J.-J. Marigo qui repose sur la minimisation d'une énergie libre égale à la somme de l'énergie élastique et d'une énergie de restitution de l'endommagement à la Griffith. C'est un modèle quasi-statique où, à chaque évolution temporelle du chargement, il s'agit en fait d'optimiser le mélange de deux phases : le matériau sain et le matériau endommagé, avec une contrainte d'irréversibilité qui stipule qu'une zone endommagée ne peut pas redevenir saine. Dans leur approche initiale G. Francfort et J.-J. Marigo avaient utilisé des minima globaux qui conduisent à une relaxation du problème par homogénéisation. La notion de minimisation globale conduit cependant à des contradictions mécaniques. C'est pourquoi nous nous proposons de ne considérer que des minima locaux obtenus par une méthode numérique de type gradient qui ne cherche que des minima locaux. L'idée est de représenter l'interface entre zones endommagée et saine par une fonction ligne de niveaux et d'advecter celle-ci à l'aide d'une équation eikonale de Hamilton-Jacobi dont la vitesse est donnée par la dérivée de forme de l'énergie libre minimisée. Eventuellement, la zone endommagée est initialisée grâce au gradient topologique. Des premières simulations numériques ont été présentées au congrès ICIAM 2007 à Zürich et un article est en cours de préparation.

Projets et axes d'avenir

L'équipe va poursuivre ses travaux dans les domaines décrits ci-dessus et les étendre dans plusieurs directions nouvelles. En premier lieu, l'expérience obtenue en optimisation de formes par méthode de lignes de niveaux et gradient topologique devrait permettre d'attaquer des problèmes inverses de détection d'inclusions dans une matrice ou de position d'une interface entre deux phases. En particulier, le couplage de ce type de méthode itérative avec des méthodes "directes" comme MUSIC ou linear sampling semble très prometteur.

En optimisation géométrique et topologique de formes un enjeu important est de trouver des alternatives moins coûteuses à l'utilisation d'un adjoint rétrograde pour estimer des gradients ou des sensibilités.

En homogénéisation, les questions de modélisation des écoulements autour d'un stockage souterrain de déchets radioactifs sont encore très nombreuses et intéressantes. Mentionnons la prise en compte d'une zone endommagée, mal connue et mal représentée, autour des galeries, ou bien le caractère diphasique des écoulements (eau et hydrogène produite par corrosion des colis de déchets). De même, les méthodes numériques multi-échelles vont être testées et améliorées lors d'une thèse qui démarre au CEA Saclay sur la diffusion de polluants dans les bétons. L'enjeu est de prendre en compte, en plus du caractère hétérogène du matériau, les très forts contrastes de perméabilité.

Les recherches programmées sur les fluides réactifs concernent notamment l'ionisation dans les flammes, les entropies d'ordre supérieur pour les fluides zero-Mach, le transport multiespèce et les fluides supercritiques.

Responsabilités et distinctions scientifiques

- ▷ G. Allaire est membre du comité éditorial des journaux ESAIM/COCV (Control, optimization, and calculus of variations), Structural and Multidisciplinary Optimization, SIAM/MMS (Multiscale Modeling and Simulation), Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse, Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B, Computational and Applied Mathematics, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (M3AS). Il est membre du Conseil National des Universités (26ème section, mathématiques appliquées), membre du conseil d'administration de la SMAI, président du GAMNI/SMAI (Groupement pour l'Avancement des Méthodes Numériques pour l'Ingénieur). Il a été conférencier invité au 6ème Congrès International de Mathématiques Appliquées et Industrielles (ICIAM 2007, Zürich).
- ▷ A. Chambolle est membre du comité éditorial de la revue "IPI - Inverse Problems and Imaging", dont le rédacteur en chef est Lassi Päiväranta (Univ. Helsinki). Il a été membre du comité d'organisation de SIAM Conference on Imaging Science, Minneapolis, Mai 2006. Il a aussi été membre du comité de sélection de "Scalespace 2005" (7-9 avril 2005, Hofgeismar, Allemagne) et fait partie tous les deux ans (années impaires) de celui de la conférence "ORASIS" pour les jeunes chercheurs en traitement d'images.
- ▷ F. Jouve a été membre du Comité National de la Recherche Scientifique de 2004 à 2006. Il est par ailleurs secrétaire du GAMNI/SMAI (Groupement pour l'Avancement des Méthodes Numériques pour l'Ingénieur).
- ▷ Vincent Giovangigli a été directeur du CMAP jusqu'au mois de mars 2006. Il a été membre du Conseil Scientifique de l'Ecole Doctorale de l'Ecole Polytechnique jusqu'en mars 2007 et membre de la Commission de Recrutement de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique jusqu'en juin 2006. Il est membre de la Commission des Thèses de l'Ecole Doctorale de l'Ecole Polytechnique. Il est aussi membre du Comité Éditorial de la revue 'Combustion Theory and Modeling' et du 'Steering Committee' du Congrès SIAM sur la Combustion Numérique.

Collaborations scientifiques et industrielles

- ▷ Grégoire Allaire est conseiller scientifique au CEA Saclay.
- ▷ Participation au GdR MOMAS "Modélisation Mathématique et Simulation Numérique liées aux Problèmes de gestion des Déchets Nucléaires". G. Allaire est président du conseil scientifique de ce GdR.
- ▷ Contrat spécifique de collaboration scientifique avec le CEA Saclay (numéro SAV 29015/VSF) sur "l'homogénéisation et les méthodes numériques pour la neutronique".

- ▷ Projet ECOS de collaboration avec le Chili (numéro C04E07) sur "homogénéisation, formule de représentation, problèmes inverses" (partenaire : J. Ortega, Université du Chili).
- ▷ Le CMAP est noeud français du réseau européen MULTIMAT (Multi-scale modeling and characterisation for phase transformations in advanced materials) MRTN-CT-2004-505226.
- ▷ A. Chambolle est responsable d'un projet ("blanc") de l'ANR sur les mouvements d'interfaces ("Mouvements d'interfaces, calcul et applications") qui fédère les équipes du CERMICS (ENPC, Régis Monneau), de l'université de Bretagne Occidentale (à Brest, Pierre Cardaliaguet), et de l'université de Tours (Guy Barles).
- ▷ Vincent Giovangigli est conseiller scientifique à l'ONERA un jour par semaine.
- ▷ L'équipe a des contacts étroits avec A. Piatnitski (Université de Narvik), R. Kohn (Courant Institute, New York), M. Vanninathan (Bangalore, Inde), Y. Capdeboscq (Université de Versailles), M. Vogelius (Rutgers), M. Bendsoe (DTU, Copenhague), C. Conca (Santiago, Chili), F. Gibou (UCSB).
- ▷ La librairie eglib.f servant à évaluer les propriétés de transport dans les mélanges gazeux est disponible sur demande pour les utilisateurs universitaires. Des renseignements sur cette librairie peuvent être obtenus sur le serveur www du laboratoire <http://www.cmap.polytechnique.fr/www.eglib/>. Cette librairie de programmes informatiques est actualisée périodiquement et régulièrement demandée par de nouveaux utilisateurs.

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

- [1] G. Allaire, F. Jouve, H. Maillot, *Topology optimization for minimum stress design with the homogenization method*, Structural and Multidisciplinary Optimization, 28, pp.87-98 (2004).
- [2] G. Allaire, F. Jouve, A.-M. Toader, *Structural optimization using sensitivity analysis and a level-set method*, J. Comp. Phys. Vol 194/1, pp.363-393 (2004).
- [3] G. Allaire, F. Jouve, *A level-set method for vibration and multiple loads structural optimization*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 194, pp.3269-3290 (2005).
- [4] G. Allaire, Y. Capdeboscq, A. Piatnistki, V. Siess, M. Vanninathan, *Homogenization of periodic systems with large potentials*, Archive Rat. Mech. Anal. 174, pp.179-220 (2004).
- [5] G. Allaire, A. Piatnistki, *Homogenization of the Schrödinger equation and effective mass theorems*, Comm. Math Phys. 258, pp.1-22 (2005).
- [6] G. Allaire, R. Orive, *On the band gap structure of Hill's equation*, J. Math. Anal. Appl. 306, pp.462-480 (2005).
- [7] G. Allaire, F. de Gournay, F. Jouve, A.-M. Toader, *Structural optimization using topological and shape sensitivity via a level set method*, Control and Cybernetics 34, pp.59-80 (2005).
- [8] G. Allaire, R. Brizzi, *A multiscale finite element method for numerical homogenization*, SIAM MMS 4(3), pp.790-812 (2005).
- [9] G. Allaire, S. Kokh, *Shock-bubble interaction*, Multiphase Science and Technology, Vol. 16, Nos. 1-3, pp. 117-120, (2004).
- [10] G. Allaire, S. Gutierrez, *Optimal Design in Small Amplitude Homogenization*, to appear in M2AN.
- [11] G. Allaire, M. Vanninathan, *Homogenization of the Schrödinger equation with a time oscillating potential*, DCDS series B, 6, pp.1-16 (2006).
- [12] G. Allaire, M. Palombaro, *Localization for the Schrödinger equation in a locally periodic medium*, SIAM J. Math. Anal. 38, pp.127-142 (2006).
- [13] G. Allaire, O. Pantz, *Structural Optimization with FreeFem++*, SMO, 32, pp.173-181 (2006).
- [14] G. Allaire, R. Orive, *Homogenization of periodic non self-adjoint problems with large drift and potential*, à paraître dans COCV (2006).

- [15] G. Allaire, C. Conca, L. Friz, J. Ortega, *On Bloch waves for the Stokes equations*, DCDS series B, 7, pp.1-28 (2007).
- [16] G. Allaire, F. Jouve, *Minimum stress optimal design with the level set method*, à paraître dans International Journal of Boundary Elements and Applications (2007).
- [17] F. Alter, V. Caselles, and A. Chambolle. A characterization of convex calibrable sets in \mathbb{R}^N . *Math. Ann.*, 332(2) :329–366, 2005.
- [18] F. Alter, V. Caselles, and A. Chambolle. Evolution of characteristic functions of convex sets in the plane by the minimizing total variation flow. *Interfaces Free Bound.*, 7(1) :29–53, 2005.
- [19] J.-F. Aujol and A. Chambolle. Dual norms and image decomposition models. *International Journal of Computer Vision*, 63(1) :85–104, 2005.
- [20] Jean-François Aujol, Gilles Aubert, Laure Blanc-Féraud, and Antonin Chambolle. Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component. *J. Math. Imaging Vision*, 22(1) :71–88, 2005.
- [21] Abdelmounim Belahmidi and Antonin Chambolle. Time-delay regularization of anisotropic diffusion and image processing. *M2AN Math. Model. Numer. Anal.*, 39(2) :231–251, 2005.
- [22] Giovanni Bellettini, Vicent Caselles, Antonin Chambolle, and Matteo Novaga. Crystalline mean curvature flow of convex sets. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 179(1) :109–152, 2006.
- [23] G. Billet, V. Giovangigli, and G. de Gassowski. Impact of Volume Viscosity on a Shock/Hydrogen Bubble interaction. *Comb. Theor. mod.*, (sous presse) (2007).
- [24] E. Burman, A. Ern and V. Giovangigli. Busen Flames Simulation by Finite Elements on Adaptively Refined Unstructured Triangulations. *Comb. Theor. mod.*, **8**, (2004), pp. 65–84.
- [25] Vicent Caselles and Antonin Chambolle. Anisotropic curvature-driven flow of convex sets. *Nonlinear Anal.*, 65(8) :1547–1577, 2006.
- [26] Vicent Caselles, Antonin Chambolle, and Matteo Novaga. Uniqueness of the cheeger set of a convex body. *Pacific J. Math.*, 231(2), 2007.
- [27] Antonin Chambolle. An algorithm for mean curvature motion. *Interfaces Free Bound.*, 6(2) :195–218, 2004.
- [28] Antonin Chambolle. An algorithm for total variation minimization and applications. *J. Math. Imaging Vision*, 20(1-2) :89–97, 2004. Special issue on mathematics and image analysis.
- [29] Antonin Chambolle. An approximation result for special functions with bounded deformation. *J. Math. Pures Appl. (9)*, 83(7) :929–954, 2004.
- [30] Antonin Chambolle. Addendum to : “An approximation result for special functions with bounded deformation” [*J. Math. Pures Appl. (9)* **83** (2004), no. 7, 929–954; mr2074682]. *J. Math. Pures Appl. (9)*, 84(1) :137–145, 2005.
- [31] Antonin Chambolle, Benoît Desjardins, Maria J. Esteban, and Céline Grandmont. Existence of weak solutions for the unsteady interaction of a viscous fluid with an elastic plate. *J. Math. Fluid Mech.*, 7(3) :368–404, 2005.

- [32] Antonin Chambolle and Matteo Novaga. Convergence of an algorithm for the anisotropic and crystalline mean curvature flow. *SIAM J. Math. Anal.*, 37(6) :1978–1987 (electronic), 2006.
- [33] Antonin Chambolle, Alessandro Giacomini, and Marcello Ponsiglione. Piecewise rigidity. *J. Funct. Anal.*, 244(1) :134–153, 2007.
- [34] Antonin Chambolle and Matteo Novaga. Approximation of the anisotropic mean curvature flow. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 17(6) :833–844, 2007.
- [35] Andrea Braides, Antonin Chambolle, and Margherita Solci. A relaxation result for energies defined on pairs set-function and applications. *ESAIM : COCV*, 2007.
- [36] Antonin Chambolle and Margherita Solci. Interaction of a bulk and a surface energy with a geometrical constraint. *SIAM J. Math. Analysis*, 39(1) :77–102, 2007.
- [37] Antonin Chambolle, Alessandro Giacomini, and Marcello Ponsiglione. Crack initiation in brittle materials. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 2008. to appear.
- [38] V. Giovangigli and M. Massot. Entropic Structure of Multicomponent Reactive Flows with Partial Equilibrium Reduced Chemistry. *Math. Meth. Appl. Sci.*, **27**, (2004), pp. 739–768.
- [39] V. Giovangigli and B. Graille. Asymptotic Stability of Equilibrium States for Ambipolar Plasmas. *Math. Mod. Meth. Appl. Sci.*, **14**, (2004), pp. 1361–1399.
- [40] V. Giovangigli and B. Graille. The Local Cauchy Problem for Ionized Magnetized Reactive Gas Mixtures. *Math. Meth. Appl. Sci.*, **28**, (2005), pp. 1647–1672.
- [41] V. Giovangigli, Nicolas Meynet and Mitchell Smooke. Application of Continuation Techniques to Ammonium Perchlorate Plane Flames. *Comb. Theor. mod.*, **10**, (2006), pp. 771–798.
- [42] V. Giovangigli. Higher Order Entropies. *Arch. Rat. Mech. Anal.*, (sous presse) (2007).
- [43] F. de Gournay, Velocity extension for the level-set method and multiple eigenvalues in shape optimization. *SIAM J. Control Optim.* **45** (2006), no. 1, 343–367.
- [44] F. de Gournay, G. Allaire, F. Jouve, *Shape and topology optimization of the robust compliance via the level set method*, à paraître dans COCV (2006).
- [45] Y. Fabignon, J.F. Trubert, V. Borie, V. Giovangigli, A. Bizot, and N. Meynet. Some Aspects of Combustion Modeling for Solid Energetic Materials. *Aero. Sci. and Tech.*, **11**, (2007), pp. 5–12.
- [46] E. Munoz, G. Allaire, M. P. Bendsoe, *On two formulations of an optimal insulation problem*, SMO **33**, pp.363-373 (2007).
- [47] O. Pantz, K. Trabelsi, *Simultaneous shape, topology and homogenized properties optimization*, SMO **34**, pp.361-364 (2007).
- [48] O. Pantz, *The modeling of deformable bodies with frictionless (self-)contacts*, Archive Rat. Mech. Anal. (à paraître).

Livres ou chapitres d'ouvrages

- [49] G. Allaire, *Analyse numérique et optimisation*, Editions de l'École Polytechnique, Palaiseau (2005).

- [50] G. Allaire, *Conception optimale de structures*, Collection : Mathématiques et Applications, Vol. 58, Springer (2007).
- [51] G. Allaire, *Numerical Analysis and Optimization. An Introduction to Mathematical Modelling and Numerical Simulation*, translated from [339] by Alan Craig, Oxford University Press, (2007).

Actes de conférence internationale avec comité de lecture

- [52] G. Allaire, *Topology optimization with the homogenization and the level-set method*, in *Nonlinear Homogenization and its Applications to Composites, Polycrystals and Smart Materials*, P. Ponte Castaneda et al. eds., pp.1-13, Kluwer (2004).
- [53] Allaire G., Jouve F. : *Shape and Topology Optimization by the Level Set Method*, Proceedings of PICO'06, Nice, Avril 2006, pp. 7–12.
- [54] Allaire G., De Gournay F., Jouve F. : *Méthodes de synthèse et d'optimisation de mécanismes compliant*, Actes des 5eme journées nationales de recherche en robotique (JNRR'05), Guidel, Octobre 2005, pp. 111–116.
- [55] G. Allaire, F. de Gournay, F. Jouve, *Optimisation de forme de micro-mécanismes compliant par la méthode des courbes de niveaux*, Actes du 7ème colloque national en calcul des structures, Giens, Mai 2005, Vol 2, pp.229-234. (2005).
- [56] G. Allaire, S. Gutierrez, *Optimal Design with Small Contrast*, in IUTAM symposium on topological design optimization of structures, machines and materials, M. Bendsoe et al. eds., pp137-146, Springer (2006).
- [57] G. Allaire, F. Jouve, *Coupling the level set method and the topological gradient in structural optimization*, in IUTAM symposium on topological design optimization of structures, machines and materials, M. Bendsoe et al. eds., pp3-12, Springer (2006).
- [58] Bonnetier E., Brassel M., Chambolle A., Jouve F. : *A variationnal approach to stress-induced instabilities in heteroepitaxial growth*, 11th international conference on fracture, Turin, Mars 2005.
- [59] B. Bourdin and A. Chambolle. Une méthode de champ de phase pour l'optimisation topologique. In R. Ohayon, J.-P. Grellier, and A. Rassineux, editors, *Septième colloque national en Calcul des structures (Giens 2005)*, volume 2, pages 223–228. Hermes Science, May 2005.
- [60] Blaise Bourdin and Antonin Chambolle. The phase-field method in optimal design. In *IUTAM Symposium on Topological Design Optimization of Structures, Machines and Materials (Copenhagen, Oct. 2005)*, volume 137 of *Solid Mechanics and Its Applications*, pages 207–215, 2006.
- [61] Antonin Chambolle. Total variation minimization and a class of binary MRF models. In Anand Rangarajan, Baba C. Vemuri, and Alan L. Yuille, editors, *Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition, 5th International Workshop, EMMCVPR 2005, St. Augustine, FL, USA, November 9-11, 2005, Proceedings*, volume 3757 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 136–152. Springer, 2005.
- [62] K. El Ganaoui, G. Allaire, *Homogenization of a Conductive and Radiative Heat Transfer Problem, Simulation with Cast3m*, Proceedings of the 2005 ASME Summer heat transfer conference, July 17-22, 2005, San Francisco.

- [63] Vincent Giovangigli. Multicomponent Transport and Sprays. International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer, CHT-04, G. de Vahl Davis and E. Leonardi (eds), Begell House Inc., New York.
- [64] Vincent Giovangigli. Gaseous Flows with Multicomponent Transport and Complex Chemistry. Reactive Flow and Transport through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach Report 49/2005, pp. 27–29.
- [65] Vincent Giovangigli. Multicomponent Reactive Flows. XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Proceedings of Wascom 2005, R. Monaco (ed), World Scientific Pub., Singapore, (2006), pp. 262–273.
- [66] Jouve F., Mechkour H. : *Optimization assisted design of compliant mechanisms by the level set method*, IFToMM World Congress (International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science), Besançon, Juin 2007.
- [67] Jouve F., Mechkour H. : *Conception optimale de mécanismes compliant par la méthode des lignes de niveaux*, 8^{ème} colloque national en calcul des structures, Giens, Mai 2007.
- [68] Mechkour H., Jouve F., Rotinat-Libersa C., Bidard C. : *Optimal Design of Compliant Mechanisms by Level Set and Flexible Building Blocks Methods*, Proceedings of WCSMO-7 (World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization), Seoul, 2007.

Notes aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences

- [69] G. Allaire, G. Faccanoni, S. Kokh, *A strictly hyperbolic equilibrium phase transition model*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 344, pp.135-140 (2007).
- [70] G. Allaire, A.-L. Raphael, *Homogenization of a convection-diffusion model with reaction in a porous medium*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 344, pp.523-528 (2007).
- [71] V. Giovangigli and B. Graille. Le Problème de Cauchy Local pour les Plasmas Dissipatifs. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I.*, **340**, (2005), pp. 119–124.
- [72] V. Giovangigli. Le Problème de Cauchy Local pour les Plasmas Dissipatifs. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I.*, **343**, (2006), pp. 179–184.
- [73] F. Jouve, K. Hanna, *Shape optimization of an accommodative intra-ocular lens*, C. R. Acad. Sci. Paris, Mécanique, **333**, pp. 243–248 (2005).
- [74] O. Pantz, *Contacts et auto-contacts sans frottement*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 341, pp.393-398 (2005).
- [75] O. Pantz, *Sensibilité de l'équation de la chaleur aux sauts de conductivité*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 341, pp.333-337 (2005).

Imagerie Médicale et Electromagnétisme

Responsable : Habib Ammari

Directeur de recherches CNRS

Chercheurs confirmés

- ▷ Toufic Abboud, Chargé de recherche CNRS (Congé pour conv. pers.)
- ▷ Naima Aissa, ATER
- ▷ Habib Ammari, Directeur de recherches CNRS
- ▷ R. Borghol, Post-doctorante
- ▷ Anne de Bouard, Chargée de recherche CNRS
- ▷ Kamel Hamdache, Directeur de recherches CNRS
- ▷ Hyundai Lee, Post-doctorant
- ▷ Aldjia Mazari, Ingénieur de Recherche, Ecole Polytechnique
- ▷ Jean-Claude Nédélec, Directeur de Recherche, Ecole Polytechnique
- ▷ Clair Poignard, Post-doctorant

Doctorants encadrés au laboratoire

- ▷ Jean Baptiste Bellet
- ▷ Anael Dossevi
- ▷ Pierre Garapon
- ▷ Eduardo Godoy
- ▷ Lili Guadarrama Bustos
- ▷ Ricardo Hein
- ▷ Ekaterina Iakovleva
- ▷ Carlos Jerez
- ▷ Sheraz Khan
- ▷ Anastasia Kozhemyak
- ▷ Kaouther Laouti
- ▷ Ignacio Muga

- ▷ Dorcas Poget
- ▷ Sebastian Ossandon
- ▷ Sofiane Soussi
- ▷ Habib Zribi

Départs

- ▷ Natacha Béreux-Vialle, Ingénieur de Recherche EDF (2007)
- ▷ Ekaterina Iakovleva, Ingénieur de Recherche, CEA-LIST (2006).
- ▷ Sofiane Soussi, Post-doctorant, Université de Gottingen (2006).
- ▷ Kaouthar Laouti, ATER, Université de Paris 8 (2007).
- ▷ Mikyoung Lim, Assistant Professor, Colorado State University (2007).
- ▷ Ignacio Muga.
- ▷ Sebastian Ossandon, Post-doctorant SupElec (2006).
- ▷ Habib Zribi, Post-doctorant, Impedance Imaging Research Center, Séoul (2006).

Membres extérieurs

- ▷ L. Hadjadj (Assistante, Alger)
- ▷ D. Hamroun (Maître Assistante, Alger)
- ▷ S. Méphire (MdC Amiens)
- ▷ M. Labadie (Doctorant P6)

Activités de recherche

Imagerie Médicale

Nouvelles Méthodes d'Imagerie

La tomographie par impédance électrique est une technologie initialement conçue pour la caractérisation des sols en géophysique. Elle est utilisée également dans le secteur industriel, notamment pour l'inspection non destructive des matériaux. Sur un autre terrain, elle a démontré son efficacité pour détecter les mines antipersonnelles. Dans le domaine biomédical, on commence à exploiter son potentiel dans l'imagerie du cancer du sein et de la prostate. Toutefois, sa résolution spatiale reste insatisfaisante à cause des caractères non-linéaires et mal posés du problème.

Récemment, avec **H. Kang** (Seoul National University), nous avons surmonté dans un ouvrage intitulé *Reconstruction of Small Inhomogeneities from Boundary Measurements* (Springer 2004) ces deux difficultés fondamentales dans un cadre asymptotique qui semble être bien adapté non seulement au problème d'imagerie du cancer du sein et de la prostate

par impédance électrique (thèse de **A. Kozhemyak**) mais également à la détection des mines antipersonnelles ou de défauts dans les structures élastiques (thèse et stage post-doctoral de **E. Iakovleva**).

À l'aide de la méthode des équations intégrales et de techniques d'analyse harmonique, nous avons développé de nouveaux algorithmes pour l'identification et la localisation de petites inhomogénéités (de conductivité isotrope et anisotrope, diélectriques et élastiques) à partir de mesures (partielles) sur le bord de l'objet ou en utilisant des données spectrales (champs de diffusion, fréquences de résonances, matrice des amplitudes modales dans le cas des guides d'ondes). Ces algorithmes sont basés sur des formules asymptotiques générales d'ordre élevé de la solution du problème correspondant (équation de la conductivité isotrope ou anisotrope, équation de Helmholtz, équations de Maxwell, système de Lamé, équation des ondes, équation de la chaleur), qui décrivent la perturbation due aux inhomogénéités de cette solution.

Dans le but d'établir ces développements techniques, nous avons introduit les notions de tenseurs de polarisation généralisés isotropes et anisotropes. Ces notions généralisent celles trouvées par Pólya et Szegő dans les années cinquante.

D'une part, nous avons démontré que la connaissance des tenseurs de polarisation généralisés caractérise d'une manière unique la géométrie de l'inclusion ainsi que sa conductivité (ou ses paramètres de Lamé). Nous avons également étudié en détail les propriétés de symétrie et de positivité de ces tenseurs et trouvé de nouvelles inégalités isopérimétriques.

D'autre part, nous sommes parvenu à mettre en évidence leur grande utilité dans la théorie des milieux effectifs : ils permettent d'exprimer la dépendance des paramètres effectifs d'un composite en fonction de la géométrie et les paramètres constitutifs des matériaux le constituant.

Avec **H. Kang**, nous avons écrit ouvrage intitulé "*Polarization and Moment Tensors with Applications to Inverse Problems and Effective Medium Theory*" (Springer 2007) consacré à l'étude de ces tenseurs de polarisation généralisés et leur utilisation dans différentes branches des mathématiques appliquées.

Nous avons ensuite exploité ces formules pour développer plusieurs algorithmes d'inversion (algorithme variationnel, algorithme de projection de courants, approche par extension méromorphe, algorithme de type diffraction tomographique ou Fourier, algorithme de type multiple signal classification (MUSIC) ou de type retournement temporel) qui sont robustes et performants et qui peuvent être utilisés en temps réel pour retrouver la position de l'inhomogénéité, estimer son volume et avoir une idée sur sa forme géométrique (via la détermination des tenseurs de polarisation généralisés qui lui sont associés). Un travail numérique de comparaison entre ces différents algorithmes de détection a été effectué par **S. Mefire**.

Lorsque plusieurs petites inhomogénéités sont proches les unes des autres, elles peuvent être remplacées par un objet équivalent (avec des paramètres constitutifs effectifs) qui induit les mêmes perturbations (au premier ordre). Notre méthode de reconstruction nous permet de détecter cet objet et de trouver ses paramètres constitutifs. Ceci nous a conduit à se pencher sur le problème d'explosion du gradient de la solution du problème de conductivité lorsque deux inclusions se touchent. Des estimations très précises ont été obtenues en fonction non seulement de la distance entre les inclusions mais également de leurs conductivités (stage post-doctoral de **M. Lim**).

Nous avons également étendu nos algorithmes au régime temporel (équation des ondes,

équation de la chaleur) et entrepris la détection de petites inhomogénéités d'une manière statistiquement stable, dans un milieu incertain décrit par des fluctuations stochastiques de ses paramètres constitutifs autour de valeurs connues a priori.

Afin de détecter d'une manière stable des défauts électromagnétiques ou élastiques, notre démarche consiste à utiliser les données obtenues par un balayage en fréquence, en profitant au mieux de la connaissance spatiale que procurent les réseaux de sources et de capteurs utilisés pour la visualisation des inclusions. Nous construisons ainsi de nouveaux algorithmes dont les propriétés de focalisation permettent de déceler ces inclusions.

Très récemment, nous avons ouvert la voie à l'imagerie électromagnétique de matériaux composites à structure périodique ou voisine du périodique, en allant au-delà de la limite de diffraction de Rayleigh. L'échelle caractéristique du composite est plus petite que la demi-longueur d'onde. Notre approche est basée sur des analyses asymptotiques précises des champs électromagnétiques et utilise la théorie des milieux effectifs. Les applications visées se situent en particulier en nano-technologie/nano-systèmes (photonique) et en diagnostic du vivant.

Les techniques que nous avons développées pour la résolution des problèmes inverses sont prometteuses et peuvent être appliquées dans d'autres domaines, en particulier en optimisation de forme et en homogénéisation (thèse de **K. Touibi**) et à la détection de la corrosion (thèse de **K. Laouti**).

Applications Bio-Médicales

Notre objectif est de développer de nouvelles méthodes d'inversion en imagerie médicale.

Imagerie du cancer du sein par une méthode asymptotique

Même si la mammographie reste l'examen de référence en matière de diagnostic du cancer du sein, les autres techniques d'imagerie ont une place primordiale en particulier dans la tranche d'âge de moins de 50 ans. La densité des seins de cette tranche d'âge induit une lecture mammographique plus difficile et moins précise. La mammographie risque de détecter des cancers chez les femmes qui n'en ont pas (faux positif) et ne pas les détecter chez celles qui en ont (faux négatif). Lors de la mammographie, les rayons X passent à travers les tissus les moins denses mais ils sont arrêtés par les plus denses. Si la tumeur est de densité semblable à celle des tissus avoisinants, la mammographie ne la détecte pas. Cela se produit dans près de 16% des cas chez les femmes de plus de cinquante ans et ce pourcentage atteint 41% chez les femmes qui sont plus jeunes. La mammographie est certes indispensable mais certainement non infaillible pour détecter les tumeurs. Il faut donc rechercher des techniques non irradiantes complémentaires à la mammographie pour imager le cancer du sein. L'élaboration de ces techniques nécessite la visualisation d'autres paramètres physiques qui varient fortement entre un tissu sain et un tissu cancéreux.

Une nouvelle technique complémentaire est l'imagerie par impédance électrique. Cette technologie, qui repose sur les différences de conductivité électrique entre tissu sain et tissu cancéreux, est commercialisée par Siemens sous le nom de TransScan 2000.

Dans des travaux récents avec **J.K Seo** (Yonsei University) et son équipe, nous nous sommes proposé d'améliorer cette technique d'imagerie en raffinant le modèle et son ana-

lyse mathématique. Nous avons réussi à développer des algorithmes numériques stables pour visualiser les variations d'impédance électrique de la glande mammaire en temps réel, avec une résolution spatiale millimétrique. Ces images peuvent être utilisées en conjonction avec la mammographie pour détecter des petites tumeurs et repérer les microcalcifications. Elles constituent des examens peu coûteux qui ne présentent aucun risque pour la santé des patients.

Notre ambition est de contribuer, en développant des algorithmes d'imagerie performants, à la réalisation d'un appareil très fiable et peu coûteux qui pourra être utilisé pour améliorer sensiblement la sensibilité (réduire le pourcentage des faux négatifs) et la spécificité (réduire le pourcentage des faux positifs) de la mammographie.

Tomographie d'impédance électrique par focalisation ultrasonore

Très récemment, nous avons proposé une nouvelle méthode d'imagerie basée sur la tomographie d'impédance électrique par perturbation élastique qui permet de reconstruire d'une manière spectaculaire (avec une résolution millimétrique et à une grande profondeur de pénétration) les paramètres électriques d'un tissu. Il s'agit d'une invention qui résulte d'une fructueuse collaboration avec d'une part **M. tanter** et **M. Fink** (ESPCI), travaillant sur l'imagerie médicale, et d'autre part **Y. Capdeboscq** (Versailles) et **E. Bonnetier** (Grenoble). L'exploitation de notre invention pourrait donner lieu à un autre appareil extrêmement performant (tant au niveau de la profondeur de pénétration, du contraste et de la résolution spatiale) pour le dépistage du cancer du sein.

Le principe de cette méthode est de créer, par une méthode non-intrusives, des perturbations contrôlées à l'intérieur du milieu que l'on souhaite imager, ce qui permet de reconstruire très précisément le milieu non-perturbé. Parce qu'elle combine des mesures de quantités de nature physique différente, notre méthode permet de s'affranchir des limitations inhérentes à la tomographie d'impédance, à savoir une mauvaise résolution en dehors des anomalies, tout en conservant les avantages, à savoir sa portabilité et son coût faible.

Imagerie cérébrale

Depuis quelques années se développe l'imagerie électrique cérébrale qui consiste à estimer l'activité électrique du cerveau au cours d'une tâche donnée.

Le problème inverse consiste à estimer les sources à l'origine des signaux électriques (EEG : Electroencéphalographie) et magnétiques (MEG : Magnétoencéphalographie) à partir des mesures de potentiels électriques et des champs magnétiques à la surface de la tête.

Ce problème inverse est complexe et il est en plein développement au sein de la communauté internationale. A l'heure actuelle, il existe deux types de méthode pour sa résolution :

- les méthodes dipolaires qui consistent à estimer la localisation d'un ou de quelques sources de courant, qui représente l'activité de toute une région corticale,
- les méthodes de sources distribuées qui consistent à disposer d'un grand nombre de sources de courant sur la surface corticale et à estimer l'amplitude de chacune.

Toutefois, ces méthodes ne permettent pas d'une part d'obtenir des informations de haute résolution spatiale et d'autre part, d'exploiter l'information temporelle contenue dans les signaux.

Dans le cadre de la thèse de **A. Dossevi** (thèse co-encadrée avec **L. Garnero**, Laboratoire de Neurosciences et Imagerie Cérébrale, Hôpital La Salpêtrière), nous avons :

- développé une nouvelle méthode inverse hybride entre l'estimation dipolaire et les méthodes de sources distribuées, dans le même esprit que celles que nous avons construites pour le problème de conductivité inverse, afin de déterminer dans des régions délimitées du cortex la localisation et l'étendue spatiale de l'activité cérébrale,

- intégré l'information temporelle afin de dégager la synchronisation de l'activité électrique des différentes régions du cerveau.

Nous nous proposons d'appliquer notre algorithme d'identification de neurones synchronisés dans le domaine clinique pour la reconstruction des réseaux épileptiques à partir d'enregistrements MEG et EEG.

Dans le même esprit que nos travaux sur les tenseurs de polarisation généralisés, nous développons, dans le cadre de la thèse de **S. Khan** (co-encadrée avec **S. Baillet**, Laboratoire de Neurosciences et Imagerie Cérébrale, Hôpital La Salpêtrière) des expansions multipolaires d'ordre élevé capables de décrire l'extension spatiale de la région activée. Nous prévoyons d'utiliser ces expansions pour mieux localiser et estimer les paramètres géométriques à l'origine des signaux électriques.

Projets et axes d'avenir : méthodes hybrides d'imagerie

Nous continuons notre travail sur l'identification de neurones synchronisés et nous envisageons des applications dans le domaine clinique pour la reconstruction des réseaux épileptiques à partir d'enregistrements MEG et EEG. Nous allons continuer également nos travaux sur les méthodes d'imagerie pour déceler le cancer du sein et de la prostate (par des coupes d'impédance électrique/ultrasons et imagerie par résonance magnétique/élastographie) afin d'ouvrir la voie à la mise au point de nouveaux imageurs très fiables.

Nous étendrons notre algorithme de type MUSIC pour détecter des petites inhomogénéités dans un milieu incertain d'une manière statistiquement stable. Le milieu est décrit par des fluctuations stochastiques des paramètres électriques. Dans ce nouveau cadre de coefficients électriques variables et inconnus a priori, notre démarche consiste d'abord à généraliser nos formules asymptotiques et ensuite à utiliser les données obtenues par un balayage en fréquence. Elle nous permet de construire un algorithme de type estimation de direction d'arrivée dont les propriétés de focalisation permettent de déceler les petites inhomogénéités avec une résolution de l'ordre du millimètre. Notre algorithme sera testé numériquement en utilisant des données expérimentales.

La tomographie par impédance électrique n'est pas applicable à la prostate. Une nouvelle approche, dite endotomographie par impédance électrique, a été récemment développée. L'endotomographie par impédance électrique (EIE) est une méthode pour imager la conductivité des tissus ou des organes profonds en utilisant une sonde d'impédance située au centre de la région d'étude. La sonde (urétrale) est constituée d'électrodes parallèles, placées à la surface d'un cylindre isolant et le champ électrique se propage dans le milieu entourant la sonde. Cette nouvelle méthode a été développée pour la détection du cancer de la prostate. Le principe de l'endotomographie suppose que le tissu normal de la prostate et le tissu de la tumeur ont des conductivités électriques très différentes. Comme l'emplacement des électrodes au centre de la région d'étude crée une situation différente

de la tomographie par impédance électrique, les concepts mathématiques et les techniques numériques de reconstruction que nous avons développés ont besoin d'être adaptés à cette nouvelle situation. Notre but serait de fournir des outils mathématiques rigoureux pour la reconstruction en temps réel de petites inhomogénéités en utilisant la technique EIE.

Nous continuons notre travail sur l'imagerie d'impédance électrique par focalisation ultrasonore. Comme dans le problème de la tomographie par impédance sans ondes ultrasonores, l'ensemble de la frontière n'est pas en général accessible aux mesures. Nous nous proposons d'obtenir des estimations précises de la qualité de la reconstruction en fonction de la distance à la zone de mesure, et de la forme du courant électrique imposé. Ce problème est particulièrement important, à cause de la connaissance non parfaite du bord de l'objet à imager (le sein par exemple).

Nous nous intéresserons également à un couplage proposé dans les années quatre vingt dix entre l'imagerie par résonance magnétique et celle par impédance électrique. Le flux magnétique dû à l'injection d'un courant est mesuré à l'aide d'un scanner. Nous nous proposons d'améliorer la résolution spatiale de l'image obtenue par résonance magnétique nucléaire, à champ magnétique constant.

Récemment, nous avons obtenus plusieurs résultats mathématiques et numériques sur la magnéto-acoustographie, une technique d'imagerie qui permet d'obtenir avec une bonne résolution la carte de conductivité d'un objet (thèse de **A. Kozhemyak**).

Nous travaillerons également dans le cadre de la thèse de **P. Garapon** et en étroite collaboration avec **R. Sinkus** (ESPCI) sur les fondements mathématiques d'un autre système très prometteur d'imagerie qui consiste à coupler l'élastographie et l'imagerie par résonance magnétique nucléaire pour la détection des tumeurs.

L'imagerie par résonance magnétique permet de mesurer les trois coordonnées spatiales du vecteur de déplacement dans l'organe à imager. Le problème inverse est de déterminer les propriétés visco-élastiques des tissus à partir de cette mesure. Nous avons proposé un nouveau algorithme totalement nouveau pour la reconstruction d'anomalies à partir de mesures élastographiques. Ceci a nécessité des analyses très fines de l'équation de Lamé (propriétés géométriques des solutions, estimations de volume optimales, construction de solutions singulières, construction d'asymptotiques, introduction d'un concept parallél au concept de tenseur de polarisation). Dans le cadre de la thèse de **P. Garapon**, nous nous proposons également d'exploiter et d'analyser les données multi-échelles obtenues par cette technique d'imagerie.

Équations Intégrales & Électromagnétisme

Méthodes Asymptotiques

Au-delà de nos travaux sur les problèmes inverses, nous avons mené à l'aide de la méthode des équations intégrales des analyses asymptotiques d'ordre élevé de solutions ou de spectres de l'équation de conductivité par rapport aux variations géométriques ou de paramètres de l'équation (thèse de **H. Zribi**). Notre intérêt pour de telles formules asymptotiques est dû au fait qu'elles fournissent des outils très puissants pour la résolution des problèmes d'optimisation.

En particulier, nous avons considéré le problème de conductivité dans des milieux à forts contrastes, le problème de perturbation du bord d'une inclusion de conductivité, le problème de valeurs propres du Laplacien dans des domaines perturbés et le problème d'ouverture de gap dans le spectre des cristaux photoniques. L'étude des résonances de quelques structures perturbées éclairées par des ondes électromagnétiques harmoniques et constituées de diélectriques et de conducteurs a fait l'objet de la thèse de **F. Triki**.

Nous avons étendu les travaux d'Ozawa, de Rauch-Taylor et de Besson sur les comportements asymptotiques des valeurs propres du Laplacien dans un domaine perturbé. Nous avons proposé une méthode qui permet d'écrire en toute dimension d'espace des développements asymptotiques complets et de traiter le cas des valeurs propres multiples. Nous avons prouvé que les problèmes spectraux pour le Laplacien dans des domaines perturbés sont équivalents à des systèmes d'équations intégrales posées sur le bord de la perturbation. Ainsi, la recherche des valeurs propres se transforme en la recherche des valeurs caractéristiques d'une fonction méromorphe à valeur d'opérateurs intégraux. En s'appuyant sur les résultats de Gohberg et Sigal, nous avons calculé explicitement des asymptotiques complètes des valeurs propres.

Cette technique d'équation intégrale a permis des récentes percées dans l'étude des cristaux photoniques (thèses de **S. Soussi** et **H. Zribi**) et phononiques (stage post-doctoral de **H. Lee**).

Ces cristaux sont des structures périodiques composées de matériaux diélectriques ou élastiques conçues afin de présenter des propriétés intéressantes, telles que des gaps dans leurs spectres, pour la propagation des ondes électromagnétiques ou élastiques classiques. Le phénomène de bandes interdites de photons peut être réalisé dans des matériaux à forts contrastes structurés périodiquement. Avec un choix adéquat de la structure du cristal, de la dimension de la cellule fondamentale et des matériaux composant le cristal, la propagation des ondes électromagnétiques dans certaines bandes de fréquence peuvent être bannies du cristal.

Dans sa thèse, **S. Soussi** a modélisé la propagation des ondes électromagnétiques dans les fibres optiques photoniques et a donné un cadre mathématique permettant de comprendre leurs propriétés inhabituelles comparées aux fibres photoniques opérant par réflexion totale.

Dans le cadre de la thèse de **H. Zribi**, une analyse très fine de la sensibilité du gap ouvert dans les cristaux photoniques par rapport à la géométrie de l'inclusion et le contraste de conductivité est fournie. Ce travail a été étendu aux cristaux phononiques dans le cadre du stage post-doctoral de **H. Lee**. En particulier, une condition nécessaire et suffisante pour l'ouverture d'un gap a été obtenue.

Méthodes Numériques

Préconditionneurs en Acoustique et Électromagnétisme

Les équations intégrales, comme toutes les méthodes numériques de simulation des équations harmoniques, présentent de sévères limitations pour traiter des problèmes à hautes fréquences. Il nous faut, en effet, un maillage en $\lambda/20$ dans le cas des méthodes d'éléments finis, et en $\lambda/5$ dans le cas des équations intégrales. Nous avons cherché à nous affranchir de ce handicap dans le cadre des équations intégrales. La technique mise au point (Thèse

de B. Zhou) consiste à chercher une solution qui oscille moins en introduisant dans les inconnues une phase. L'approximation classique de Kirchoff nous donne cette phase dans la partie éclairée et nous l'utilisons partout. Ceci nous a conduit à des gains de performances de l'ordre de 1000, mais au prix d'une beaucoup plus grande complexité du calcul de l'assemblage de la matrice. Ce travail a été repris récemment, dans la thèse de E. Darrigrand (Bordeaux) avec l'introduction des méthodes rapides multipolaires (FMM), ce qui a considérablement réduit le temps de calcul de la matrice.

Dans le même type d'idées, le développement des méthodes rapides multipolaires a rendu attractives l'utilisation des méthodes itératives de type gradient conjugué. La FMM permet en effet d'évaluer à faible coût le champ lointain (sous sa forme représentation intégrale) créée par un courant. Ceci diminue considérablement le coût d'une itération du gradient conjugué ainsi que le stockage informatique associé (mais alors, on ne construit pas la matrice de l'équation intégrale). Ceci permet actuellement de calculer efficacement des objets de plusieurs longueurs d'ondes. Il est alors essentiel que la méthode itérative converge rapidement. Ceci est lié au conditionnement de cet opérateur. Dans sa thèse, S. Christiansen a introduit de nouvelles idées basées sur l'utilisation de l'identité de Calderon qui relie différents opérateurs intégraux. Ces techniques s'avèrent extrêmement performantes à basses fréquences. Nous poursuivons leur étude pour améliorer la convergence à hautes fréquences et sur des cas de géométries complexes (diélectriques en particulier).

Méthodes des Potentiels Retardés

Les techniques d'équations intégrales, dans le cas de problèmes temporels conduisent à des représentations en potentiels retardés. L'étude mathématique de ce type d'équations n'est pas très avancée. Nous avons entrepris dès 1987 (Thèse de T. Ha Duong) l'étude numérique de ces équations par des approximations variationnelles. La principale difficulté est l'obtention de discrétisations temporelles stables. Dans le cas des équations acoustiques, nous avons finalement trouvé de bonnes solutions à ce problème.

Dans tous les cas ci-dessus, cette technique s'avère peu coûteuse et permet de décrire, soit l'établissement du régime harmonique, soit toute une gamme de régimes fréquentiels liée à la finesse du maillage en espace. Plusieurs industriels ont adopté cette technique qui semble très prometteuse. C'est le cas de la start-up créée par T. Abboud (IMACS) qui est en période de croissance. Elle travaille en relation avec Renault, Peugeot et EADS.

Filtres Piezo-Acoustiques

La technique des équations intégrales a permis la modélisation 2D des dispositifs à onde acoustique de surface en collaboration avec Thomson Microsonics. C'est l'objet de la thèse CIFRE de Jonas Ribbe. Le code qu'il a développé est un couplage FEM-BEM utilisant le tenseur de Green piezo-électrique. Celui-ci est calculé à l'aide d'une transformation de Fourier partielle. Les résultats se comparent bien aux mesures et le code est en exploitation pour la conception des filtres SAW chez Thomson Microsonics (qui est devenu TEMEX).

Fluides et matériaux magnétiques

Matériaux ferromagnétiques

Les matériaux ferromagnétiques connaissent un développement technologique important du fait de la miniaturisation des composants électroniques et la demande toujours plus grande d'augmentation des capacités de stockage de ces composants. La modélisation de la dynamique de l'aimantation dans un matériau ferromagnétique est donnée par les équations de Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG). Ces équations sont couplées aux équations de Maxwell satisfaites par le champ magnétique. L'induction magnétique obéit à une loi d'état contenant la polarisation magnétique du milieu en plus du champ magnétique. Le point important à noter est qu'au niveau technologique les matériaux utilisés sont minces.

Dans un travail collaboration avec **H. Ammari** et **L. Halpern** nous avons étudié le comportement limite d'un matériau (d'épaisseur) mince. La terme d'ordre 0 de l'asymptotique vérifie une équation LLG dans la section du domaine avec un effet induit de type Gioia-James dû à la dégénérescence des équation satisfaite par le champ démagnétisant.

Avec **M. Tilioua** et **D. Hamroun** nous avons considéré le cas de matériaux en couches avec espaceurs non magnétique. Nous avons étudié de types de couplages intercouches : le couplage bilinéaire et le couplage biquadratique.

Lorsque que l'on considère uniquement le couplage bilinéaire (qui prend en compte uniquement l'énergie de surface des couches ferromagnétiques adjacentes), nous avons établi dans avec **M. Tilioua**, un résultat d'existence globale de solutions faibles d'énergie finie. Nous avons ensuite étudié deux problèmes de réduction 3D-2D du modèle. Dans le premier problème nous avons considéré le cas où les deux couches ferromagnétiques sont d'épaisseur très petite par rapport à celle de l'espaceur non magnétique. Dans la deuxième problème nous avons étudié le cas inverse. Pour le premier problème, l'analyse asymptotique montre, qu'à l'ordre 0, l'aimantation limite se dédouble dans la section du matériau. Chaque aimantation vérifie une équation de LLG. Ces deux équations sont couplée via le couplage intercouche bilinéaire d'origine. Un effet induit du type Gioia-James est aussi mis en évidence qui est dû au champ démagnétisant. La réduction 3D-1D avec couplage intercouche bilinéaire a été poursuivie par **M. Tilioua** dans le cadre de sa thèse. La réduction 3D-2D dans le cas d'un espaceur non magnétique d'épaisseur petite induit des effets tout à fait nouveaux touchant les équations de la magnétostatique. En effet on obtient une nouvelle equation de la magnétostatique satisfaite par le champ démagnétisant. Elle est posée dans les domaines magnétiques avec des conditions de transmission de couplage entre les couche adjacentes qui est de type contact.

Avec **D. Hamroun** nous avons considéré les equations de LLG dans un domaine tri-couche en prenant en compte l'énergie de couplage biquadratique . Nous avons introduit introduisant une nouvelle approche de résolution des équations de LLG basée sur le principe de régularisation plutôt que sur l'utilisation de la méthode de Galerkin. La condition aux limites de Neumann, associée à cette énergie, contient par un terme non linéaire cubique et aucune propriété de monotonie n'est associée à cette condition. Nous avons établi, par une méthode de régularisation et de renormalisation des non linéarités, que les equation de LLG (multi-couches) étaient bien posées dans l'espace es solutions faibles d'énergie finie.

Avec **D. Hamroun** et **M. Tilioua** nous sommes intéressés au problème du renversement de l'aimantation dans un matériau en couches, $\mathbf{F}/\mathbf{NF}/\mathbf{F}$, par injection de courant polarisé en

spin. Nous avons étudié le modèle proposé par Zhang, Levy et Fert. De nombreux autres modèles sont proposés dans les publications récentes de physique et il n'y a pas unanimité sur la question. En particulier la définition et la description de l'interaction du spin avec l'aimantation n'est pas tout à fait claire. Le modèle proposé par A.fert et ses collaborateurs est un système couplé entre l'aimantation locale satisfaisant les équations de LLG et une nouvelle équation satisfaite par l'accumulation de spin qui est de type Bloch-Torrey. Nous avons démontré que le système proposé est bien posé et admettait des solutions globales sur tout intervalle de temps fini.

Enfin, avec **M. Tilioua** nous avons étudié le comportement asymptotique des solutions des équations de LLG en fonction du paramètre phénoménologique α (qui assure la décroissance de l'énergie des solutions régulières). Lorsque α tend vers 0, on démontre que le problème limite est donné par le modèle gyromagnétique initialement introduit pour modéliser les matériaux ferromagnétiques. Lorsque le paramètre α tend vers l'infini alors en utilisant une renormalisation de l'échelle du temps dans LLG on déduit l'équation d'amortissement de Landau-Lifshitz où seul le terme d'amortissement dans LLG intervient.

Matériaux ferroélectriques et piezoélectriques

Dans un matériau ferroélectrique le champ de déplacement contient un terme supplémentaire qui est la polarisation électrique. Le point de départ de cette étude est le modèle proposé par Coofman, Greenberg et Mac Camy. Il s'agit d'un système formé par deux équations de Maxwell, non linéaires et couplées via le champs électrique et la polarisation électrique. Avec **H. Ammari** nous avons démontré l'existence globale de solutions et établi la régularité H^1 des solutions sur l'intervalle de temps $[0, T]$ pour tout T fixé pour la condition aux limites $P \times n = 0$. Sous cette condition les champs de Maxwell ($P \in L^2, \nabla \times P \in L^2$ et $\nabla \cdot P \in L^2$ satisfont $P \in H^1$).

Dans le cadre de sa thèse (inachevée), **I. Ngningone** s'est intéressée aux solutions harmoniques en temps du système. Dans un travail de collaboration, nous avons démontré l'existence de solutions pour toute fréquence $\omega > 0$, établi l'unicité des solutions pour des fréquences qui sont au delà d'un seuil ω_* et obtenu la régularité H^1 des solution pour des fréquence qui sont au delà d'un seuil ω_{**} plus grand que le précédent. Il est important de noter que ces résultats sont obtenus pour la condition aux limites $P \times n = 0$. La démonstration repose sur l'étude précise des équations de compatibilité du système.

I. Ngningone a ensuite considéré les approximations TE et TM du mod ele. Ce la conduit à un système d'équation de Helmholtz couplées. Une étude complète de ce problème a été faite par **I. Ngningone** et nous avons obtenu l'existence de solutions et établi le comportement limite à basses fréquences ($\omega \rightarrow 0$) des solutions.

Dans un travail de collaboration avec **N. Aissa**, nous avons considéré le problème de la réduction 3D-2D d'un matériau ferroélectrique mince quand l'épaisseur tend vers 0. Nous avons obtenu le problème limite dans le cas de potentiels ϕ linéaires. Le cas général se heurte à la question de la compacité des solutions des champs électrique et de polarization électrique. **N. Aissa** s'est intéressée ensuite à la régularité jusqu'au bord des champs de Maxwell dans le cas d'ouverts de frontière Lipchitzienne et avec l'hypothèse $P \times n \in L^2(\partial\Omega)$. La régularité des solutions du système de matériaux ferroélectriques proposé par Coofmann Greenberg et Mac Camy reste non résolue dans le cas de la condition aux limites naturelle.

Face à ces difficultés avec **N. Aïssa** nous avons introduit un nouveau modèle en imposant au champ polarisé la contrainte d'incompressibilité. Cela conduit dans le cadre de solutions harmonique en temps à un système formé par une équation de Helmholtz pour le champ électrique et une équation du type Stokes (non linéaire) satisfaite par le champ de polarisation. Nous avons établi l'existence et la régularité des solutions.

Avec **D. Hamroun** de l'université d'Alger, nous avons considéré le modèle de matériaux piezo-électriques proposé par F. Davi. Il s'agit d'un système formé d'une équation des ondes couplée à une équation de diffusion. Le couplage est fait au niveau de la vitesse de propagation des ondes et au niveau du terme d'interaction dans l'équation de la chaleur. Nous avons considéré le problème de Cauchy. Ce système a la particularité de n'avoir, à notre connaissance, aucun invariant évident. Nous avons établi un théorème d'existence locale en temps de la solution du problème en procédant comme suit. L'énergie élastique satisfaite par u contient un terme de dissipation du type $\int \partial_t n |\partial_x|^2 dx$. Nous avons recherché les conditions pour lesquelles on a $\partial_t n \leq 0$ et $n \geq 0$ ce qui garantit la décroissance de l'énergie. Ces conditions sont satisfaites si à l'instant initial les données sont telles que $n_0 \geq F_0$, $\partial_x^2 n_0 - \partial_x u_0 \leq -F_0$ où $F_0 > 0$ est une constante.

Harmoniques de seconde génération.

N. Aïssa s'est intéressée à un problème posé par la génération des harmoniques secondes. Le phénomène de la génération des harmoniques secondes est un processus d'optique non-linéaire dans lequel les photons d'un faisceau incident interagissent avec un matériau non-linéaire et se combinent pour former de nouveaux photons avec le double de l'énergie, donc avec le double de la fréquence ou la moitié de la longueur d'onde des photons initiaux. On considère un matériau hétérogène Ω formé par d'un matériau non-linéaire et d'une non-linéarité représentée par une boule de centre x_0 et de rayon r . On s'intéresse au comportement asymptotique, lorsque $r \rightarrow 0$, des approximations TE et TM de la génération de seconde harmonique sur Ω proposées par Bao et Dobson. On montre d'abord dans les deux cas qu'il y a existence et unicité d'une solution. Le résultat d'existence établi par **N. Aïssa** généralise celui Bao-Dobson au cas où les susceptibilités ne sont pas petites. Elle montre ensuite que le problème limite est un système découplé formé par les équations de Helmholtz. Elle donne enfin un développement asymptotique de la solution et note que le premier correcteur fait intervenir des tenseurs de polarisation et une concentration de la solution au point x_0 ainsi que des termes non-linéaires apparaissant dans l'équation initiale.

Fluides magnétiques

Les fluides magnétiques ou ferrofluides ont de nombreuses applications industrielles et peut être médicales. Il s'agit d'un écoulement diphasique composé d'une suspension de particules ferromagnétiques, de même taille nanométrique, évoluant dans un fluide Newtonien appelé transporteur. Ces solutions commencent à être conçus pour le traitement médical mais cela reste largement expérimental. Le principe théorique de ce traitement est le suivant. La solution colloïdale est injecté dans l'artère du patient et, sous l'action d'un champ magnétique extérieur, les particules sont transportées vers la cible malade pour s'y agglomérer.

Le modèle macroscopique (sang, suspension à particules ferromagnétiques) est décrit par la vitesse U du fluide satisfaisant l'équation de Navier-Stokes de l'équation, par l'aimantation

M du fluide, qui est supposé aimanté, vérifiant l'équation de Bloch, du moment d'inertie ou angulaire Ω satisfaisant une equation de type convection-diffusion et le champ magnétique H vérifiant dans tout l'espace les équations de Maxwell. On règle générale on considère l'approximation magnétostatique de ces équations. Le couplage entre ces se fait à travers la force de Kelvin intervennt comme terme de source dans l'équation de Navier-Stokes et des termes de retournement intervenat dans l'équation de loch et dans l'équation du moment angulaire. La force de Kelvin est donnée par $(M \cdot \nabla)H$, c'est le gradient d champ magnétique dans la direction de l'aimantation.

Avec **Y. Amirat** et **F. Murat** nous avons étudié le modèle complet **incompressible** appelé modèle de Rosensweig et démontré un résultat d'existence globale de solutions faibles d'énergie finie. Avec Y. Amirat nous avons considéré le modèle **incompressible** de Shliomis déduite du modèle de Rosensweig en supposant le le moment angulaire du fluide valait la moitié du vecteur tourbillon. Un terme trilineaire de retournement, phénoménologique et comparable à celui apparaissant dans les équations de Landau-Lifshitz, est ajouté à l'équation de Bloch. Nous avons que ce modèle est bien posé pour tout temps.

Dans un travail récent avec Y. Amirat, nous avons considéré le modèle de Rosensweig **compressible**. En s'inspirant des résultats P. L. Lions, Feirseil, Novotny sur la dynamique des fluides compressibles nous avons établi un résultat d'existence globale de solutions fables d'énergie finie.

Projets et axes d'avenir

- ▷ Modèles compressibles pour les fluides magnétiques.
- ▷ Modèle diphasiques pour des fluides magnétiques.
- ▷ Etudes des instabilités dans un écoulement ferrofluide.
- ▷ Mouvement d'une sphère magnétique dans un fluide visqueux incompressible.
- ▷ Modélisation cinétique de l'écoulement d'une solutions colloïdale dans un fluide visqueux incompressible.

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

- ▷ **Aïssa N.**, Asymptotic Behavior of the TE and TM Approximations to Second Harmonic Generation, *J. Comp. Math.*, 25 (2007), 49–66.
- ▷ **Aïssa N.**, Asymptotic Behavior of Thin Ferroelectric Material, *Port. Math. (N.S.)* 63 (2006), no. 4, 375–392.
- ▷ Amirat Y., **Hamdache K.** et Murat F., Global weak solutions to the equations of motion for magnetic fluids, *J. Math. Fluid Mech.*, 1-26 (2007).
- ▷ Amirat Y. et **Hamdache K.**, Global weak solutions to a ferrofluid flow model, *Math.Meth. Appl. Sci.* à paraître (2007).
- ▷ **Aïssa N.** et **Hamdache K.**, Asymptotics of time harmonic solutions to a thin ferroelectric model, *Abstract and Applied Analysis*, Art. ID 61629, 14 pp (2007).

- ▷ **Ammari H.** et Volkov D., The leading order term in the asymptotic expansion of the scattering amplitude of a collection of finite number of dielectric inhomogeneities of small diameter, *International Journal for Multiscale Computational Engineering* **3** (2005), 285–296.
- ▷ **Ammari H.** et Santosa F., Guided waves in photonic bandgap structure with line defect, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **64** (2004), no. 6, 2018–2033.
- ▷ **Ammari H.** et Uhlmann G., Reconstruction of the Potential from Partial Cauchy Data for the Schrödinger Equation, *Indiana University Mathematics Journal* **53** (2004), no.1, 168–184.
- ▷ **Ammari H.** et Kang H., Boundary layer techniques for solving the Helmholtz equation in the presence of small inhomogeneities, *Journal of Mathematical Analysis and Applications* **296** (2004), 190–208.
- ▷ **Ammari H.**, Beretta E. et Francini E., Reconstruction of thin conductivity imperfections, *Applicable Analysis* **83** (2004), no.1, 63–78.
- ▷ **Ammari H.** et **Triki F.**, Resonances for microstrip transmission lines, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **64** (2004), no.2, 601–636.
- ▷ **Ammari H.** et **Triki F.**, Splitting of resonant and scattering frequencies under shape deformation, *Journal of Differential Equations* **202** (2004), no.1, 231–255.
- ▷ **Ammari H.**, Seo J.K., Kwon O. et Woo E.J., Mathematical framework and anomaly estimation algorithm for breast cancer detection using TS2000 configuration, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* **51** (2004), 1898–1906.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., Kim E. et **Lim M.**, Reconstruction of closely spaced small inclusions, *SIAM Journal on Numerical Analysis* **42** (2005), no. 6, 2408–2428.
- ▷ **Ammari H.** et Kang H., Reconstruction of conductivity inhomogeneities of small diameter via boundary measurements, *Contemporary Mathematics*, Vol. **348**, 23–32, 2004.
- ▷ **Ammari H.**, Kwon O., Seo J.K. et Woo E.J., T-scan electrical impedance imaging system for anomaly detection, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **65** (2005), no.1, 252–266.
- ▷ **Ammari H.**, Asch M. et Kang H., Boundary perturbations of voltage potentials caused by small conductivity inhomogeneities nearly touching the boundary, *Advances in Applied Mathematics* **35** (2005), no.4, 368–391.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Touibi K.**, Boundary layer techniques for deriving the effective properties of composites materials, *Asymptotic Analysis* **41** (2005), no.2, 119–140.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Touibi K.**, Approximation of a conductivity inclusion close to a planar surface, *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)* **57** (2006), 234–243.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Lim M.**, Gradient estimates for solutions to the conductivity problem, *Mathematische Annalen* **332** (2005), 277–286.
- ▷ **Ammari H.**, **Iakovleva E.** et Lesselier D., A MUSIC algorithm for locating small inclusions buried in a half-space from the scattering amplitude at a fixed frequency, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **3** (2005), 597–628.

- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et Kim K., Polarization tensors and effective properties of anisotropic composite materials, *Journal of Differential Equations* **215** (2005), 401–428.
- ▷ **Ammari H.**, Beretta E. et Francini E., Reconstruction of thin conductivity inhomogeneities, II. The case of multiple segments, *Applicable Analysis*, **85** (2006), 87–105.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Lim M.**, Effective parameters of elastic composites, *Indiana University Mathematics Journal* **55** (2006), 903–922.
- ▷ **Ammari H.**, **Iakovleva E.** et Lesselier D., Two numerical methods for recovering small inclusions from the scattering amplitude at a fixed frequency, *SIAM Journal on Scientific Computing* **27** (2005), 130–158.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et Santosa F., Scattering of electromagnetic waves by thin dielectric structures, *SIAM Journal on Mathematical Analysis* **38** (2006), 1329–1342.
- ▷ **Ammari H.** et Kang H., Reconstruction of elastic inclusions of small volume via dynamic measurements and boundary control, *Applied Mathematics and Optimization* **54** (2006), 223–235.
- ▷ **Ammari H.**, **Iakovleva E.** et H. Kang, Reconstruction of a small inclusion in a 2-D open waveguide, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **65** (2005), no. 6, 2107–2127.
- ▷ **Ammari H.**, **Iakovleva E.**, Kang H. et Kim K., Direct algorithms for thermal imaging of small inclusions, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **4** (2005), 1116–1136.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., **Lee H.**, Lee J. et **Lim M.**, Optimal estimates for the electric field in two-dimensions, à paraître dans *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*.
- ▷ **Ammari H.**, Capdeboscq Y., Kang H., Kim E. et **Lim M.**, Numerical attainability by simply connected domains of optimal bounds for the polarization tensor, *European Journal of Applied Mathematics* **17** (2006), 201–219.
- ▷ **Ammari H.**, **Iakovleva E.**, Lesselier D. et Perrusson G., A MUSIC-type electromagnetic imaging of a collection of small three-dimensional inclusions, *SIAM Journal on Scientific Computing* **29** (2007), 674–709.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Lee H.**, A boundary integral method for computing elastic moment tensors for ellipses and ellipsoids, *Journal of Computational Mathematics* **25** (2007), 2–12.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., Soussi S. et Zribi H., Layer potential techniques in spectral analysis. Part II : analysis of spectral properties of high contrast band-gap materials, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **5** (2006), 646–663.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et Kim E., Approximate boundary conditions for patch antennas mounted on thin layers, *Communications in Computational Physics* **1** (2006), 1076–1095.
- ▷ **Ammari H.**, Griesmaier R. et Hanke M., Identification of small inhomogeneities : asymptotic factorization, *Mathematics of Computation* **76** (2007), 1425–1448.
- ▷ **Ammari H.**, Dassios G., Kang H. et **Lim M.**, Estimates for the electric field in the presence of adjacent perfectly conducting spheres, *Quarterly of Applied Mathematics* **65** (2007), 339–355.

- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Lee H.**, Asymptotic expansions for eigenvalues of Lamé system in domains with small inclusions, à paraître dans *Communications in Partial Differential Equations*.
- ▷ **Ammari H.**, **Garapon P.**, Kang H. et **Lee H.**, A method of biological tissues elasticity reconstruction using magnetic resonance elastography measurements, à paraître dans *Quarterly of Applied Mathematics*.
- ▷ Asch M. et **Seraphin M.**, Numerical Localization of Electromagnetic Imperfections from a Perturbation Formula in Three Dimensions, à paraître dans *Journal of Computational Mathematics*, 2007.
- ▷ Duran M., **Hein R.** et **Nédélec J.C.**, Computing numerically the Green's function of the half-plane Helmholtz operator with impedance boundary conditions, *Numerische Mathematik*, **107**, (2007), 2, 295-314.
- ▷ Duran M., **Muga I.** et **Nédélec J.C.**, The Helmholtz equation in a locally perturbed half-plane with passive boundary, *IMA Journal of Applied Mathematics*, **71**(2006), 853-876.
- ▷ Duran M., **Ossanson S.** et **Nédélec J.C.**, Numerical Study of the Spectral 3D Green's Function Singularities for Piezoelectric SAW Components, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* (2005).
- ▷ **Hamdache K.** et Tilioua M., The Landau-Lifshitz equations and the damping parameter, *Bolletino U.M.I.* (8), 9B N 2, 283-297 (2006).
- ▷ **Hamdache K.**, Hamroun D. et Tilioua M., On a model of magnetization switching by spin-polarized current, *Japan Journ. of Indust. and Appl. Math.* Vol 23, N 1, 105-125 (2006).
- ▷ **Hamdache K.** et **Ngningone-Eya I.**, Time harmonic solutions to a model of ferroelectric materials, *Applicable Analysis* 84, N 7, 721–736 (2005).
- ▷ **Hamdache K.** et Hamroun D., Ferromagnets with biquadratic exchange coupling energy. Global existence of weak solutions, *Math. Meth. Appl. Sci.*, 28 : 1403-1421 (2005).
- ▷ **Hamdache K.** et **Tilioua M.**, Interlayer exchange coupling for ferromagnets through spacers, *SIAM J. Appl. Math.* Vol. 64, N. 3, 1077–1097 (2004).
- ▷ **Hamdache K.** et Hamroun D. Local solutions to a model of piezoelectric materials, *Math. Meth. Appl. Sci.*, 27, 1657–1670 (2004).
- ▷ **Soussi S.**, Modeling photonic crystal fibers, *Adv. in Appl. Math.* 36 (2006), no. 3, 288–317.
- ▷ **Soussi S.**, Convergence of the supercell method for defect modes calculations in photonic crystals, *SIAM J. Numer. Anal.* 43 (2005), no. 3, 1175–1201.
- ▷ **Soussi S.**, Second-harmonic generation in the undepleted-pump approximation, *Multiscale Model. Simul.* 4 (2005), no. 1, 115–148.

Livres

- ▷ **Ammari H.** et Kang H. Reconstruction of Small Inhomogeneities from Boundary Measurements, *Lecture Notes in Mathematics*, Volume **1846**, Springer-Verlag, Berlin 2004, 238 pages.

- ▷ **Ammari H.** et Kang H. (éditeurs) Inverse Problems, Multi-Scale Analysis and Homogenization, *Contemporary Mathematics*, Volume 408 (2006), American Mathematical Society.
- ▷ **Ammari H.** et Kang H. Polarization and Moment Tensors with Applications to Inverse Problems and Effective Medium Theory, *Applied Mathematical Sciences*, Volume 162, Springer-Verlag, New York 2007, 325 pages.
- ▷ **Ammari H.** (éditeur), Modeling and Computations in Electromagnetics : A Volume Dedicated to Jean-Claude Nédélec, *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*, Volume 59, Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- ▷ **Ammari H.** An Introduction to Mathematics of Emerging Biomedical Imaging, soumis à *Mathématiques & Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 2007, 202 pages.

Thèses

- ▷ **Iakovleva E.**, Problème de diffusion inverse par des petites inclusions électromagnétiques, Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 2004
- ▷ **Soussi S.**, Quelques modélisations mathématiques en optique, Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 2004
- ▷ **Touibi K.**, Quelques problèmes mathématiques en imagerie des microstructures, Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 2004
- ▷ **Zribi H.**, Techniques du potentiel pour des analyses de sensibilité, Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 2005
- ▷ **Muga I.**, Mathematical Study of some Wave Problems Arising in Half-spaces, Universidad de Chile, 2005
- ▷ **Laouti K.**, Détection de la corrosion dans les pipelines, Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique, 2006
- ▷ **Ossandon S.**, Mathematical modeling, numerical analysis and computational simulation of complex phenomena of propagation of acoustic, elastic and electromagnetic waves, Ecole Polytechnique, Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2006

Actes de conférences internationales avec comité de lecture

- ▷ **Ammari H.** Kang H. et **Lim M.**, Polarization tensors and their applications, Proceedings of the second International Conference on Inverse Problems : recent developments and numerical approaches, Shanghai, 2004, *Journal of Physics : Conference Series* **12** (2005), 13–22.
- ▷ **Ammari H.** et Kang H., Generalized polarization tensors, inverse conductivity problems, and dilute composite materials : A review, *Contemporary Mathematics*, Volume **408**, 1–67, 2006.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Zribi H.**, Electrostatics in high contrast materials, *Journal of Computational Mathematics* **25** (2007), 244–251.

- ▷ Duran M., **Hein R.**, **Muga I.** et **Nédélec J.C.**, The Helmholtz equation with impedance Boundary Conditions in a Half-plane. Application to Compute Resonances in Marine Hydraulics, International Conference on Computational Methods in Marine Engineering (MARINE 2005), Oslo, Noruega, (2005) 579-590.

Notes aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences

- ▷ Duran M., **Godoy E.** et **Nédélec J.C.**, Computing Green's function of elasticity in a half-space with impedance boundary condition, C. R. Acad. Sci. Paris, Mécanique, **334** (2006), 9, 725-731.
- ▷ Duran M., **Muga I.** et **Nédélec J.C.**, The Helmholtz equation with impedance in a half-space, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, **341** (2005), 9, 561-566.
- ▷ Duran M., **Muga I.** et **Nédélec J.C.**, The Helmholtz equation with impedance in a half-plane, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, **340** (2005), 7, 483-488.

Prépublications soumises à une revue avec comité de lecture

- ▷ Asch M. et **Seraphin M.**, Using Reduced Meshes for Simulations of the Localization of Small Electromagnetic Inhomogeneities in a 3D Bounded Domain, Preprint R.I. 620, CMAP, Ecole Polytechnique, 2007, 43 p.
- ▷ **Dossevi A.**, Garnero L. et **Ammari H.**, Automatic reconstruction of functional networks from a principal component analysis of the signals in MEG/EEG, soumis dans *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
- ▷ **Ammari H.**, Bonnetier E., Capdeboscq Y., Tanter M. et Fink M., Electrical impedance tomography by elastic deformation, soumis dans *SIAM Journal on Applied Mathematics*.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H. et **Lee H.**, Asymptotic analysis of high-contrast phononic crystals, soumis dans *Archive for Rational Mechanics and Analysis*.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., Kim E., **Lee H.** et **Louati K.**, Vibration testing for detecting internal corrosion, soumis dans *SIAM Journal on Mathematical Analysis*.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., **Lim M.** et **Zribi H.**, Layer potential techniques in spectral analysis. Part I : complete asymptotic expansions for eigenvalues of the Laplacian in domains with small inclusions, soumis dans *Transactions of the American Mathematical Society*.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., **Lim M.** et **Zribi H.**, Conductivity interface problems. Part I : small perturbations of an interface, soumis dans *Proceedings of the American Mathematical Society*.
- ▷ **Ammari H.**, Kang H., Kim E., **Louati K.** et Vogelius M., A MUSIC-type algorithm for detecting internal corrosion from electrostatic boundary measurements, soumis dans *Numerische Mathematik*.
- ▷ **Ammari H.**, Calmon P. et **Iakovleva E.**, Direct elastic imaging of a small inclusion, soumis dans *SIAM Journal on Imaging Sciences*.
- ▷ Hadjadj L., **Hamdache K.** et Hamroun D., Existence of solutions to a strongly coupled degenerated system arising in tumor modeling, Preprint CMAP. R.I N. 617 (2007).

Génie logiciel et visualisation scientifique

Responsable : Jean-François Colonna

Ingénieur en chef à France Télécom

Chercheurs confirmés

- ▷ Jean-François Colonna, Ingénieur en chef à France Télécom
- ▷ Aldjia Mazari, Ingénieur de recherche à l'École Polytechnique

Activités de recherche

Créé le 10 juillet 1996, le thème Génie Logiciel et Visualisation Scientifique découle principalement des activités du GSV-LACTAMME, groupe de recherche commun à France Télécom R&D (ex-CNET Centre National d'Études des Télécommunications, France Télécom) et au CMAP (Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique).

Concevoir des méthodes et des outils de synthèse d'image appliqués à la recherche et à l'Enseignement fut la mission confiée au GSV-LACTAMME lors de sa fondation en 1981 ; au cours des années qui suivirent, il devint vite évident que l'ordinateur, outil indispensable à la science d'aujourd'hui, était à la base même de cette recherche (et de la recherche en général ...) et que, pour garantir tout à la fois la qualité et la pérennité des résultats obtenus, il était indispensable que ces derniers reposent sur une base solide et rigoureuse. C'est pourquoi, une nouvelle mission vit spontanément le jour : mettre en place une méthode pragmatique de développement de logiciels scientifiques garantissant que ces derniers soient tout à la fois plus fiables, facilement maintenables, communicables, réutilisables et enfin indépendants des plates-formes matérielles utilisées.

Génie Logiciel

L'omniprésence et l'importance de l'ordinateur dans la recherche conduisent à se poser de nombreuses questions, et en particulier :

- ▷ L'environnement de travail peut-il être fiable, unique et indépendant des systèmes informatiques utilisés (et donc portable de même que pérenne) ?
- ▷ Une méthode de programmation simple et pragmatique peut-elle améliorer la fiabilité, l'évolutivité et la maintenabilité des logiciels développés ?
- ▷ Comment tirer le meilleur parti des ressources disponibles ?

- ▷ Quelle garantie peut-on avoir quant à la validité des résultats numériques obtenus ?
- ▷ Comment analyser au mieux ces derniers ?

Afin d'atteindre les objectifs de portabilité, de pérennité et de sécurité, un système virtuel a été conçu et porté sur l'ensemble des systèmes UNIX accessibles (et en particulier sur Linux). Dans cette architecture, une machine physique joue un rôle particulier, celui de référence pour l'ensemble des systèmes accessibles : en particulier, celle-ci contient en permanence la source unique (c'est-à-dire indépendant des plates-formes matérielles et logicielles) de chaque programme. Pour améliorer la fiabilité des logiciels scientifiques, un modèle simple de programmation a été défini ; il repose principalement sur des exigences de mise en forme, ainsi que sur de fortes contraintes syntaxiques et sémantiques. Ce modèle a débouché sur la définition d'un langage de programmation préfixé, le K, qui inclut de plus des primitives utiles à l'expression de différentes formes de parallélisme ainsi qu'un dérivateur formel.

Un effort tout particulier a porté sur les problèmes liés aux erreurs d'arrondi : une méthode reposant sur la perte de l'associativité (de la multiplication en particulier) a été proposée afin de permettre la détection des méthodes sensibles à la précision des calculs (la sensibilité aux conditions initiales impliquant nécessairement la sensibilité aux erreurs d'arrondi). Une méthode originale a été développée afin de pouvoir définir dans un programme, si besoin est, l'ordre dans lequel les opérations élémentaires sont exécutées (ce que le parenthésage ne suffit pas à faire, malheureusement !); il est ainsi possible de garantir, si besoin est, la pérennité absolue (et non point approximative) des résultats. Récemment, ceci a été étendu : il est dorénavant possible, lorsque cela est souhaitable, de redéfinir dynamiquement l'arithmétique utilisée dans les programmes ; ainsi, par exemple, une fonction de produit matriciel peut être utilisée avec l'arithmétique $\{\text{MAX}, +\}$ à la place de l'arithmétique usuelle $\{+, \times\}$.

Enfin, un langage simpliste de description de calculs complexes a été développé et récemment des outils de parallélisme lui ont été adjoints. Ils reposent sur un principe de "pool" de travaux à effectuer dans lequel viennent puiser, lorsqu'elles le peuvent, les différentes machines participantes, sachant que la liste de celles-ci peut évoluer au cours du temps.

Visualisation Scientifique

Plus que par la réalisation d'outils spécifiques, c'est par la tentative de mise en place d'une sémiologie de la visualisation scientifique que peut se caractériser cette activité. En effet, dans le contexte de la recherche tant fondamentale qu'appliquée, les "objets" à visualiser sont en général très éloignés du sens commun, inconnus, interdits de représentation, sans images *a priori* (c'est le cas, par exemple, d'un champ de pression) ou encore inexistantes ; d'énormes erreurs de représentation peuvent être alors commises. Il est donc essentiel de définir des conventions de visualisation cohérentes, compatibles avec les problèmes traités et non conflictuelles vis à vis de nos cultures et de nos sens. Cette démarche permet de jeter de plus un pont entre la Science et l'Art.

Récemment, un outil original de manipulation de variétés bi- et tridimensionnelles dans R^3 a été développé : il consiste à leur associer une image (respectivement une suite d'images) appelée "pseudo-projection". Ainsi, tous les outils de synthèse, de traitement et de manipu-

lation d'images existant peuvent être utilisés pour manipuler ces variétés : interpolation, filtrage, lissage, déformation,...

A partir de ces méthodes et outils, le concept d'Expérimentation Virtuelle peut être mis en oeuvre. A titre d'exemples, de nombreuses expériences ont été faites récemment ; elles concernent :

- ▷ Le problème des N-corps où il a été montré, en particulier, que lors d'un simple changement de référentiel, une certaine forme de chaos (dit *virtuel*) pouvait apparaître (celui-ci a été particulièrement mis en évidence dans une interpolation de point de vue conduisant du Soleil à Pluton). Cette forme de chaos a aussi été étudiée à partir de mouvements circulaires concentriques et uniformes. Ces expériences montrent que, dans certains cas, les notions d'ordre et de désordre peuvent être relatives.
- ▷ La simulation de phénomènes naturels (montagnes, surface lunaire, nuages, érosion, coquillages, plantes, ...) à l'aide de la géométrie fractale.
- ▷ Le mouvement de particules matérielles ou immatérielles en interaction entre-elles et avec le milieu tridimensionnel hétérogène dans lequel elles se meuvent. Des simulations de marches aléatoires bi- et tridimensionnelles, ainsi que l'étude de billiards aux formes les plus diverses (et par exemple fractales) ont ainsi été réalisées. Des applications à la thermodynamique ainsi qu'à la marche aléatoire des photons produits par le soleil ont été effectuées et une nouvelle méthode de construction d'agrégats fractals bi et tridimensionnels a été proposée. Plus récemment, des possibilités de simulation de propagation d'épidémies ont été introduites.
- ▷ La visualisation de variétés de Calabi-Yau (apparaissant en théorie des supercordes) à l'aide d'une méthode nouvelle de production d'images autostéréoscopiques.

Projets et axes d'avenir

L'accès à des machines toujours plus performantes (en rapidité comme en capacité mémoire) amène à manipuler des ensembles de résultats de plus en plus volumineux. Aussi bien au niveau du calcul scientifique qu'à celui de la gestion, il semble que la mise en images animées de ces ensembles multidimensionnels soit une aide essentielle à leur compréhension et à leur exploitation. Des méthodes nouvelles seront donc développées afin de répondre à ces besoins.

Collaborations scientifiques et industrielles

Au cours des dernières années plusieurs collaborations pédagogiques et scientifiques ont été renouvelées ou mises en place ; elles concernent :

- ▷ Partant du modèle bidimensionnel d'érosion des côtes de Bernard Sapoval (PMC), Andréa Baldassari et de Andréa Gabrielli, une généralisation tridimensionnelle a permis de calculer et visualiser l'évolution de côtes de formes et de consistances arbitraires. Son extension au problème de l'attaque chimique des matériaux a été réalisée.

- ▷ En collaboration avec Bernard Sapoval (PMC), des simulations relatives à la diffusion "classique" ont été réalisées, en particulier pour montrer le phénomène "ile-presqu'île" au cours duquel le déplacement élémentaire d'une particule a des conséquences macroscopiques. Ces travaux furent ensuite étendus à la diffusion "douce" bi- et tridimensionnelle dans laquelle les particules possèdent une extension (de nature gaussienne). L'objet de cette étude est de voir s'il y a, en présence d'un gradient de particules, invariance des structures observées à l'intérieur des sections bidimensionnelles (orthogonales au gradient) des surfaces d'iso-densité.
- ▷ Le problème des N-corps : un programme très général de résolution numérique du problème des N-corps en mécanique newtonienne a été réalisé. Il a permis en particulier de produire diverses visualisations montrant les notions d'excentricité et d'inclinaison, le système solaire (versions héliocentrique et géocentrique), les rétrogradations de la planète Mars et enfin des animations qui montrent combien les hommes de science ont (peut-être) de la chance d'habiter une planète dont la trajectoire est à peu près dans le même plan que ses sœurs (sauf Pluton) et dans un système stellaire non binaire. La plupart de ces résultats seront présentés à la Cité des Sciences et de l'Industrie à partir de 2008 dans la nouvelle exposition sur l'Univers.
- ▷ La visualisation du mouvement brownien bi- et tridimensionnel.

Publications

Expositions

- ▷ Rencontres Mathématiques, Bibliothèque de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau (06/2004).
- ▷ Mathématiques et Art, Bibliothèque de l'Institut Henri Poincaré, Paris (02/2005).
- ▷ Art et Science, Salon d'honneur de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau (05/2005).
- ▷ Science and Art, Rutgers the State University of New Jersey, USA (06/2005).
- ▷ Mathématiques et Art, Bibliothèque de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau (07/2005)
- ▷ Art et Science, Ecole Polytechnique, Palaiseau (11/2005).
- ▷ Art et Science, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Palaiseau (02/2006).
- ▷ Art et Science, Mairie de Palaiseau, Palaiseau (06-09/2006).
- ▷ Géométrie Fractale, Salon d'honneur de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau (09/2006).
- ▷ Art et Science, Espace Mendès France, Poitiers (09-10/2006).
- ▷ Art et Science, Paris XII, Créteil (03/2007).

Serveur WWW

Le serveur Internet d'adresse :

<http://www.lactamme.polytechnique.fr/>

assure une large diffusion des méthodes originales de développement de logiciels ainsi que des images et des animations les plus représentatives. Il reçoit chaque jour des requêtes

provenant de plusieurs centaines de visiteurs différents (2890 le 20/06/2007). Pour faciliter ce développement ainsi que les mises à jour et la gestion, tout en rejetant l'usage du langage HTML de bas niveau, un langage structuré a été développé. Ce serveur présente actuellement d'une part plus de 2300 visualisations scientifiques sous forme d'images fixes et d'animations, montrant aussi bien les applications scientifiques qu'artistiques, et d'autre part, une copie hyper-texte de tous les articles.

Commande optimale (oct. 2006 →)

Responsable : J. Frédéric Bonnans

Directeur de Recherche à l'INRIA et Professeur chargé de cours à l'Ecole Polytechnique

Chercheurs confirmés

- ▷ J. Frédéric Bonnans, Directeur de Recherche à l'INRIA
- ▷ Pierre Martinon, Chargé de Recherche à l'INRIA

Doctorants encadrés au laboratoire

- ▷ Audrey Hermant, Oct 2005, *Analyse locale et algorithmes de tir en commande optimale*
- ▷ Elisabeth Ottenwaelter, Oct 2000, *Méthodes de différences finies généralisées pour le contrôle stochastique*
- ▷ Francisco Silva, Sept 2007, *Algorithmes de points intérieurs pour la commande optimale*

Doctorants encadrés en dehors du laboratoire

- ▷ Romain Apparigliato, Contrat CIFRE EDF, Janv 2005, *Application de la simulation avec recours pour la gestion de risque aux horizons hebdomadaire et mensuel.*

Activités de recherche

Méthodes directes pour l'optimisation de trajectoire

Nous avons développé de nouvelles méthodes directes pour la commande optimale, basées sur des schémas symplectiques et une méthode de pénalisation logarithmique qui permet une estimation fine des erreurs (primales et duales) de discrétisation. L'ensemble se combine avec une structure d'algèbre linéaire dédiée permettant de traiter le cas de plusieurs trajectoires connectées.

Analyse de sensibilité et algorithmes de tir

Une série de travaux menés par P. Martinon a porté sur les techniques homotopiques appliquées à la résolution de problèmes de commande optimale par des algorithmes de tir, avec application aux trajectoires spatiales (transfert d'orbite à poussée faible).

Plus récemment nous avons traité dans le même esprit le cas de trajectoires de lanceurs comportant des arcs singuliers (en atmosphère).

Enfin dans le cadre de la thèse de A. Hermant des outils de sensibilité ont été appliqués à l'analyse locale de problèmes de commande optimale avec contrainte sur l'état, ce qui a permis d'établir le caractère bien posé des algorithmes de tir pour ce cas.

Programmation stochastique

Dans le cadre d'une collaboration avec EDF (bourse CIFRE de R. Apparigliato) nous avons étudié les techniques de règles de décision linéaire en vue d'obtenir une commande robuste, puis des modèles simplifiés en vue d'optimisation de la marge.

Contrôle stochastique

Dans le cadre de la thèse de E. Ottenwaelter nous avons développé une méthode de différences finies généralisées qui permet de contrôler la consistance (ou son éventuel défaut) avec un nombre de points plus ou moins grands dans le stencil. La thèse de S. Maroso a permis d'établir des estimations d'erreur de ce type de méthode pour des problèmes de jeux particuliers et de commande impulsif.

Applications

L'optimisation de la gestion de la batterie de véhicules hybrides a fait l'objet d'une coopération avec Renault.

L'optimisation de trajectoires spatiales (lanceurs et rentrées atmosphériques) a fait l'objet d'une collaboration avec le CNES et l'Onera (bourse CNES-ONERA de J. Laurent-Varin, puis étude dans le cadre du pôle Opale).

F. Bonnans a étudié avec plusieurs ingénieurs de GDF des problèmes d'optimisation liés à l'industrie du gaz : renforcement de réseaux de gaz (investissements pluriannuels), calcul des équilibrages entre zones, application de la théorie des jeux coopératifs à l'allocation des coûts sur le réseau.

Rappelons pour mémoire la collaboration avec EDF.

Projets et axes d'avenir

- ▷ Les méthodes de points intérieurs pour l'optimisation de trajectoire ont encore un potentiel d'amélioration important dans le domaine de la robustesse des calculs et de l'optimisation des outils d'algèbre linéaire. Les questions de vitesse de convergence, liées à l'analyse asymptotique soulèvent des difficultés théoriques.

- ▷ Les méthodes de continuation, en particulier dans le contexte de méthodes de tir pour la commande optimale, peuvent être mieux comprises à la suite de nombreux travaux d'analyse de sensibilité et devraient progresser dans les prochaines années.
- ▷ Questions de robustesse (paramètres incertains, modèles de jeux) pour la commande optimale.
- ▷ Optimisation de réserves énergétiques : prise en compte de mesures de risque.
- ▷ Schémas numériques pour la résolution de l'équation HJB du contrôle stochastique.

Responsabilités et distinctions scientifiques

- ▷ F. Bonnans est membre du "Council-at-large" de la Mathematical Programming Society (2006-2009), et fait partie du bureau du groupe SMAI-MODE. Il est éditeur correspondant à "ESAIM :COCV" et fait partie des comités de rédaction de "Applied Mathematics and Optimization", et "Optimization, Methods and Software".
- ▷ Il a organisé l'école CEA-EDF-INRIA "Commande optimale : algorithmes et applications (28mai-1er juin 2007), coprésidé le comité scientifique du 13th IFAC Workshop on Control Applications of Optimisation CAO'06, 26-28 avril 2006, ENS Cachan, et est cofondateur du Séminaire Parisien d'Optimisation en 2004.
- ▷ Il a été invité comme conférencier plénier de (i) Europt-OMS joint Conference, Prague, July 4-7, 2007, (ii) Veszprém Optimization Conference : Advanced Algorithms (VOCAL), December 13-15, 2006, Veszprém, Hungary, (iii) the Shanghai International Workshop on Optimization (IWOS 2005), May 28-30, 2005, Tongji University, (iv) Workshop on "Large Scale Nonlinear Optimization". 22 juin - 1er juillet, 2004, Erice, Sicile, (v) Journées MAS "Contrôle stochastique et statistique", Nancy, Sept. 2004.
- ▷ Membre du conseil d'administration d'EDP Sciences (2003-2005), pendant sa vice-présidence aux publications de la SMAI (2002-2004), il a lancé le projet de nouvelle série de livre et la nouvelle formule de RAIRO-RO (en association avec la SMAI et ROADEF).

Collaborations scientifiques et industrielles

- ▷ L'équipe fait partie projet STIC-AmSud sur l'Optimisation énergétique (avec plusieurs pays sudaméricains), 2007-2008.

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

- ▷ J.F. Bonnans, M. André *Fast computation of the leastcore and prenucleolus of cooperative games*. Rapport de Recherche INRIA RR-5956 (2006). RAIRO-RO, à paraître.

- ▷ J.F. Bonnans, A. Hermant *Stability and Sensitivity Analysis for Optimal Control Problems with a First-order State Constraint*. Rapport de Recherche INRIA RR-5889 (Juillet 2006). ESAIM :COCV, à paraître.
- ▷ J.F. Bonnans, A. Hermant *No-gap Second-order Optimality Conditions for Optimal Control Problems with a Single State Constraint and Control*. Rapport de Recherche INRIA 5837 (2006). *Mathematical Programming Series B*, Special issue in the honor of S.M. Robinson, à paraître in 2007.
- ▷ J.F. Bonnans, A. Hermant *Well-Posedness of the Shooting Algorithm for State Constrained Optimal Control Problems with a Single Constraint and Control*. *SIAM J. Control Optimization* 46-4(2007), pp. 1398-1430.
- ▷ N. Bérend, J.F. Bonnans, M. Haddou, J. Laurent-Varin, Ch. Talbot *An Interior-Point Approach to Trajectory Optimization*. *J. Guidance, Control and Dynamics* 30-5(2007), 1228-1238.
- ▷ J.F. Bonnans, S. Maroso, H. Zidani *Error estimates for a stochastic impulse control problem*. *Applied Mathematics and Optimization* 55-3(2007), 327–357.
- ▷ J.Gergaud, P. Martinon (2007). *Using switching detection and variational equations for the shooting method*. *Optimal Control Applications & Methods* 28-2, 95–116.
- ▷ J.F. Bonnans, J. Laurent-Varin *Computation of order conditions for symplectic partitioned Runge-Kutta schemes with application to optimal control*. *Numerische Mathematik* 103-1(2006), 1–10.
- ▷ J.F. Bonnans, S. Maroso, H. Zidani *Stochastic differential games : the adverse stopping game*. *IMA J. Numerical Analysis* 26-1(2006), 188–212.
- ▷ J.F. Bonnans, H. Ramirez *Perturbation analysis of second-order cone programming problems*. *Mathematical Programming Series B* 104(2005), 205-227.
- ▷ J.F. Bonnans, Th. Guilbaud, A. Ketfi-Cherif, C. Sagastizábal, D. von Wissel, H. Zidani *Parametric optimization of hybrid car engines*. *Optimization and Engineering* 5-4(2004), 395-415.
- ▷ J.F. Bonnans, E. Ottenwaelter, H. Zidani *A fast algorithm for the 2D HJB equation of stochastic control*. ESAIM :M2AN 38-4(2004), 723-735.
- ▷ J.Gergaud, T.Haberkorn, P.Martinon *Low thrust minimum-fuel orbital transfer : an homotopic approach*. *Journal of Guidance, Control and Dynamics* 27-6(2004), 1046-1060.

Livres

- ▷ J.F. Bonnans : *Optimisation continue*. Dunod, Paris, 325 pages, 2006.
- ▷ J.F. Bonnans, P. Rouchon : *Commande et optimisation de systèmes dynamiques*. Editions de l'École Polytechnique, 288 pages, 2005.
- ▷ J.F. Bonnans, J.Ch. Gilbert, C. Lemaréchal, C. Sagastizábal : *Numerical Optimization : theoretical and numerical aspects*. Universitext Series, Springer-Verlag, Berlin, 485 pages, seconde édition, 2006.

Chapitres de livres et d'ouvrages collectifs avec éditeur

Thèses et habilitations

- ▷ Stefania Maroso *Analyse numérique des problèmes de contrôle stochastique* (thèse soutenue en 2006).
- ▷ J. Laurent-Varin : *Ascension et rentrée optimales de lanceurs réutilisables* Collaboration CNES-ONERA (thèse soutenue en 2006).
- ▷ H. Ramirez : *Optimisation semi définie positive*. Cotutelle avec R. Correa, Universidad de Chile, Santiago. (thèse soutenue en 2005).
- ▷ R. Bessi : (codirection avec H. Smaoui, ENIT, Tunis) : *Analyse de sensibilité en optimisation*. Université Al Manar (Tunis) (thèse soutenue en 2004).

Actes de conférence internationale avec comité de lecture

- ▷ N. Bérend, J.F. Bonnans, M. Haddou, J. Laurent-Varin, C. Talbot *Fast Linear Algebra for Multiarc Trajectory Optimization*. In “Large Scale Nonlinear Optimization”, Proc. Erice Workshop, Non convex optimization and its applications series, G. Di Pillo and M. Roma eds, Springer Verlag, 2006, pp. 1–14.
- ▷ J. Gergaud, P. Martinon, *An application of PL continuation methods to singular arcs problems*, Proceedings of the 12th French-German-Spanish Conference on Optimization, Avignon (2004), Lectures Notes in Economics and Mathematical System **563**, 163–186, Springer (2006).

Notes au Comptes Rendus de l'Académie des Sciences

- ▷ J.F. Bonnans, A. Hermant *Conditions d'optimalité du second ordre nécessaires ou suffisantes pour les problèmes de commande optimale avec une contrainte sur l'état et une commande scalaire*. Notes aux Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sér. I 343(2006), 473–478.

Prépublications soumises à une revue avec comité de lecture

- ▷ J.F. Bonnans, A. Hermant (2007) *Second-order Analysis for Optimal Control Problems with Pure and Mixed State Constraints*. INRIA Report RR-6199. Soumis à Annals Inst. Henri Poincaré.
- ▷ J.F. Bonnans, P. Martinon, E. Trélat (2007) *Singular arcs in the generalized Goddard's Problem*. INRIA Report RR-6157. Soumis à J. Optim. Theory Applications.
- ▷ J. André, J.F. Bonnans, L. Cornibert (2006). *Optimization of capacity expansion planning for gas transportation networks*. Soumis à European J. of Operational Research (EJOR).
- ▷ S. Adam, J.F. Bonnans, R. Paraisy (2006). *Application of convex lexicographical optimization to the balance of the GRT gaz gas grid*. Soumis à European J. of Oper. Res. (EJOR).

Couplage d'équations (→ oct. 2005)

Responsable : Frédéric Nataf

Directeur de recherches CNRS

L'équipe a disparu en octobre 2005. Son responsable est parti au Laboratoire J.L. Lions de l'Université Paris 6, suite à sa promotion Directeur de recherches (mobilité obligatoire).

Chercheurs confirmés

- ▷ Victorita Dolean, Maître de Conférences à l'Université de Nice
- ▷ Vincent Giovangigli, Directeur de recherches CNRS
- ▷ Sylvie Mas-Gallic, Professeur à l'Université d'Evry

Les rapports de Vincent Giovangigli et de Sylvie Mas-Gallic se trouvent avec ceux de leur nouvelle équipe, **Optimisation de formes et matériaux**.

Départs

- ▷ Chokri Chniti, thèse soutenue en 2005, post-doctorant à l'INRIA
- ▷ Sylvain Desroziers, thèse soutenue en 2006, CEA
- ▷ Victorita Dolean, Maître de Conférences à l'Université de Nice
- ▷ Eric Flauraud, thèse soutenue en 2004, IFP
- ▷ Benjamin Graille, thèse soutenue en 2004, Maître de Conférences à l'Université d'Orsay depuis 2005
- ▷ Frédéric Nataf, Directeur de recherches CNRS au Laboratoire J.L. Lions

Activités de recherche

L'équipe travaille sur différents types de couplage. La simulation des phénomènes physiques repose souvent, en effet, sur des plusieurs modèles : couplage fluide-structure, atmosphère-océan, blocs-failles en milieux poreux. De même, la combustion est basée sur la modélisation couplée de centaines de réactifs (écoulements complexes, fluides multiphasiques, les flammes à cinétique chimique complexe, les réacteurs d'épitaxie ou encore la chromatographie). Les systèmes mécaniques présentent aussi souvent des comportements multiéchelles qui nécessitent des traitements particuliers pour limiter le coût des calculs (ex : échelles de

temps et d'espace très différentes pour le stockage des déchets radioactifs ou la structure des pains de pneumatiques). Enfin sur un plan strictement numérique, on s'intéresse au développement de méthodes efficaces pour des calculateurs parallèles et plus généralement des simulations de grande taille.

Calcul parallèle

La thèse de Sylvain Desrozières en coencadrement avec Remi Sentis (CEA-DAM) traite de la simulation numérique de l'interaction laser-plasma. Une des difficultés essentielles est la résolution de l'équation d'Helmholtz à coefficients variables sur des domaines de plusieurs milliers de longueurs d'onde de côté. En combinant des techniques de solveurs rapides et de décomposition de domaine, on a pu traiter des cas à plus de 300 millions d'inconnues sur une machine à 512 processeurs.

Très récemment, F. Nataf a étendu les préconditionneur de type Neumann-Neumann à des systèmes d'équation : Euler compressible avec V. Dolean, Stokes et Oseen (Navier-Stokes incompressible linéarisé) avec G. Rapin (Université de Goettingen). Ces résultats sont très novateurs car ils introduisent une technique générale d'obtention de tels algorithmes pour des systèmes arbitraires d'équations aux dérivées partielles. Ainsi pour les équations d'Euler et d'Oseen, il s'agit de la première fois que l'on écrit un véritable algorithme de type Neumann-Neumann. Pour les équations de Stokes, les algorithmes existants ne sont en fait pas optimaux contrairement à celui que nous proposons. L'originalité repose sur l'emploi d'un outil provenant de l'algèbre théorique : la forme normale de Smith d'une matrice.

Les travaux sur les méthodes de Schwarz optimisées se sont poursuivis. La thèse de C. Chniti a porté sur le traitement spécifique des singularités dans les décompositions de domaine. Celle d'Eric Flauraud a porté sur le traitement des singularités dans les coefficients de l'équation aux dérivées partielles.

Même avec des méthodes parallèles, il est nécessaire de disposer de préconditionneurs séquentiels efficaces et peu coûteux. Les factorisations approchées matricielles, telles que ILU0, $ILU(\epsilon, \dots)$, sont très souvent utilisées comme préconditionneurs pour des méthodes de type gradient conjugué (Gradient conjugué, GMRES, BICGSTAB, ...). Appliquées à des problèmes à coefficients très fortement discontinus et/ou anisotropes, on observe des plateaux de convergence pouvant atteindre plusieurs centaines d'itérations. Ce plateau est dû à l'existence de quelques valeurs propres très basses dans le spectre du problème préconditionné. En collaboration avec Y. Achdou (Université Paris 7 et laboratoire J.L. Lions), nous proposons une nouvelle approche utilisable dès la première résolution. La méthode a été testé avec succès pour des problèmes scalaires symétriques et non symétriques en dimension deux et trois d'espace.

Fluides réactifs

Les travaux de recherche sur les fluides réactifs ont porté sur les écoulements à cinétique chimique complexe. On s'est intéressé à la modélisation physique, l'analyse mathématique, l'analyse numérique et le calcul de ces écoulements.

Alexandre Ern et Vincent Giovangigli sont poussivi leurs travaux sur les algorithmes de

transport multi-espèces pour lesquels ils ont développé une théorie mathématique et physique dans le cadre de la théorie cinétique des mélanges gazeux polyatomiques réactifs. Ces algorithmes ont été implémentés au sein d'une librairie de routines Fortran disponible sur le réseau www qui a été régulièrement actualisée en 2000-2004.

Des travaux ont été réalisés pour évaluer l'impact de l'effet Soret (diffusion de masse due aux gradients de température) sur les processus d'évaporation de gouttelettes. La diffusion des espèces chimiques due aux gradients de température freinent en effet la diffusion des fluels lourds des gouttelettes vers le gaz ambiant, mais ceci conduit à une augmentation des gradients de concentrations qui viennent contrebalancer l'effet Soret.

V. Giovangigli et Marc Massot ont analysé la structure mathématique du système d'équations aux dérivées partielles obtenu lorsque l'on suppose un équilibre chimique partiel des réactions. On s'est intéressé notamment à la thermochimie, à la symétrisation des équations, à divers résultats d'existence de solutions.

La méthode Streamline–diffusion est une méthode d'éléments finis couramment utilisée en mécanique des fluides. Cette méthode a été adaptée au cas des écoulements réactifs à faible nombre de Mach. Des difficultés considérables ont due être résolues concernant l'absence de principe du maximum de ces méthodes, notamment pour les maillages triangulaires. Eric Burman, Alexandre Ern et Vincent Giovangigli ont simulé numériquement des flammes de type Bunsen avec des cinétiques chimiques monoréactionnelles et des cinétiques chimiques complexes.

Le dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma, connu sous l'acronyme anglais PECVD, est une technique industrielle qui permet la réalisation de couches minces pour les composants opto-électroniques. Une décharge électrique est utilisée pour ioniser des gaz et créer un plasma froid de haute densité contenant les précurseurs du dépôt cristallin. Le dépôt chimique assisté par plasma est la source de nombreux problèmes nouveaux, de nature physique, mathématique ou numérique. Cette étude est un prolongement naturel de nos travaux sur le dépôt chimique en phase vapeur non ionisée. Nous nous sommes intéressés à la modélisation du dépôt chimique assisté par plasma à partir de la théorie cinétique des gaz et à l'analyse de la structure des équations fluides correspondantes.

Projets et axes d'avenir

Des simulations numériques de plasmas réactifs seront réalisées. Nous nous intéresserons à la modélisation des plasmas magnétisés et des plasmas multitempératures. Il faut noter que la présence d'un champ magnétique complique considérablement la structure des flux dissipatifs, notamment celle du flux de chaleur et des flux de masses des espèces chimiques.

Les piles à combustible synthétisent de l'eau en produisant de l'électricité, réalisant l'inverse de l'électrolyse. Un obstacle important à l'utilisation massive de ces piles à combustible est la nécessité de disposer d'hydrogène, dont le stockage est particulièrement dangereux. Une solution possible est la production locale d'hydrogène à partir d'hydrocarbures facilement disponibles dans le commerce. Une jeune entreprise présente sur le Campus de l'École Polytechnique a mis au point un filtre hautement sélectif pour l'hydrogène qui sera utilisé dans un réacteur d'oxydation partielle d'hydrocarbures. Nous avons commencé à travailler à la modélisation d'un tel réacteur.

Responsabilités et distinctions scientifiques

- ▷ Vincent Giovangigli fait partie du comité de rédaction de la revue *Combustion Theory and Modelling* et du “steering comitee” du congrès SIAM sur la combustion numérique.

Collaborations scientifiques et industrielles

- ▷ Vincent Giovangigli est conseiller scientifique à l’ONERA depuis 1989. Ces travaux concernent le calcul des flammes à cinétiques chimiques complexes.
- ▷ Frédéric Nataf est conseiller scientifique à l’IFP depuis 1997. Ces travaux concernent la simulation de la genèse de bassins sédimentaires par des méthodes de décomposition de domaine.
- ▷ Contrat avec le CEA dans le cadre de la thèse de S. Desroziers

Publications

Publications dans une revue avec comité de lecture

- ▷ L. Gerardo-Giorda, P. Le Tallec et **F. Nataf**, A Robin-Robin preconditioner for strongly heterogeneous advection-diffusion problems, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 193 (2004), no. 9-11, 745–764
- ▷ V. Dolean, S. Lanteri et **F. Nataf**, Convergence analysis of additive Schwarz for the Euler equations, *Applied Numerical Mathematics*. 9 (2004), no. 2, 153–186
- ▷ E. Flauraud, **F. Nataf** and F. Willien, Optimized Interface Conditions in Domain Decomposition Methods for Problems with Extreme Contrasts in the Coefficients, to appear in *Journal of Computational and Applied Mathematics* (2006).
- ▷ L. Saas, I. Faille, **F. Nataf** et F. Willien., Finite Volume Methods for Domain Decomposition on Nonmatching Grids with Arbitrary Interface Conditions, *SIAM J. Num. Ana.*, Vol. 43, No 2, pp.860–890, 2005
- ▷ L. Gerardo-Giorda and **F. Nataf**, Optimized Schwarz methods for unsymmetric layered problems with strongly discontinuous and anisotropic coefficients, *J. Numer. Math.* 13 (2005).
- ▷ V. Dolean, **F. Nataf**, A new domain decomposition method for the compressible Euler equations, in *ESAIM-M2AN*, 2006.
- ▷ Y. Achdou and **F. Nataf**, Low Frequency Tangential Filtering Decomposition, in *Numerical Linear Algebra* (2006)

Actes de conférence internationale avec comité de lecture

- ▷ I. Faille, **F. Nataf**, L. Saas, F. Willien, Finite Volume Methods on Non-Matching Grids with Arbitrary Interface Conditions and Highly Heterogeneous Media, *Domain Decomposition Methods in Science and Engineering Series : LNCSE*, Vol. 40 2004

Notes aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences

- ▷ L. Saas, I. Faille, **F. Nataf**, and F. Willien, Domain decomposition for a finite volume method on non-matching grids. *C. R. Math. Acad. Sci. Paris* 338 (2004), no. 5, 407–412.
- ▷ **F. Nataf**, A new construction of perfectly matched layers for the linearized Euler equations, *T.R. CMAP-566*, notes aux CRAS, Série I 340, 775–778, 2005.
- ▷ V. Dolean, **F. Nataf** and G. Rapin, New constructions of domain decomposition methods for systems of PDEs, 2005, notes aux CRAS, Série I 340, 693–696.
- ▷ C. Chniti, **F. Nataf**, F. Nier. Improved Interface Conditions for the Domain Decomposition of a Non-Convex Polygonal Domain. *CRAS* 342(11) (2006), pp 883-886

Prépublications soumises à une revue avec comité de lecture

- ▷ E. Burman, A. Ern and **V. Giovangigli**, Bunsen Flames with Finite Elements and Complex Chemistry. *Comb. Theor. mod.* *submitted*.
- ▷ **Giovangigli and B. Graille**, Asymptotic Stability of Equilibrium states for Ambipolar Plasmas. *Math. Mod. Meth. Appl. Sci.* *submitted*.
- ▷ S. Desroziers, **F. Nataf**, R. Sentis, Simulation of Laser Propagation in a Plasma With a Frequency Wave Equation, *submitted*
- ▷ V. Dolean, **F. Nataf**, G. Rapin, Deriving a new domain decomposition method for the Stokes equations using the Smith factorization, *submitted*
- ▷ C. Japhet, **F. Nataf**, Y. Maday, A new cement to glue non-conforming grids with Robin interface conditions : the finite element case, *submitted*

Équations hyperboliques non-linéaires et applications (→ 2005)

Responsable : Philippe G. LeFloch

Directeur de recherches CNRS

L'équipe a disparu en octobre 2004. Son responsable est parti au Laboratoire J.L. Lions de l'Université Paris 6, suite à un changement thématique.

Équations aux dérivées partielles et contrôle (→ 2005)

Responsable : Jean-Pierre Puel

Professeur à l'Université de Versailles-Saint-Quentin

L'équipe a disparu en décembre 2004. Il s'agissait d'une antenne de l'Université de Versailles, qui a réintégré son établissement d'origine.

Production scientifique du CMAP

Les chercheurs confirmés du CMAP sont en gras, les doctorants soulignés.

Articles dans des revues avec comité de lecture

- [1] **G. Allaire**, F. Jouve, H. Maillot. *Topology optimization for minimum stress design with the homogenization method*, Structural and Multidisciplinary Optimization, 28, pp.87-98 (2004)
- [2] **G. Allaire**, F. Jouve, A.-M. Toader. *Structural optimization using sensitivity analysis and a level-set method*, J. Comp. Phys. Vol 194/1, pp.363-393 (2004)
- [3] **G. Allaire**, Y. Capdeboscq, A. Piatnistki, V. Siess, M. Vanninathan, *Homogenization of periodic systems with large potentials*, Archive Rat. Mech. Anal. 174, pp.179-220 (2004)
- [4] **G. Allaire**, S. Kokh, *Shock-bubble interaction*, Multiphase Science and Technology, Vol. 16, Nos. 1-3, pp. 117-120, (2004)
- [5] **G. Allaire**, F. Jouve. *A level-set method for vibration and multiple loads structural optimization*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 194, pp.3269-3290 (2005)
- [6] **G. Allaire**, A. Piatnistki. *Homogenization of the Schrödinger equation and effective mass theorems*, Comm. Math Phys. 258, pp.1-22 (2005)
- [7] **G. Allaire**, R. Orive, *On the band gap structure of Hill's equation*, J. Math. Anal. Appl. 306, pp.462-480 (2005)
- [8] **G. Allaire**, F. de Gournay, F. Jouve, A.-M. Toader. *Structural optimization using topological and shape sensitivity via a level set method*, Control and Cybernetics 34, pp.59-80 (2005)
- [9] **G. Allaire**, R. Brizzi. *A multiscale finite element method for numerical homogenization*, SIAM MMS 4(3), pp.790-812 (2005)
- [10] **G. Allaire**, M. Vanninathan. *Homogenization of the Schrödinger equation with a time oscillating potential*, DCDS series B, 6, pp.1-16 (2006)
- [11] **G. Allaire**, M. Palombaro, *Localization for the Schrödinger equation in a locally periodic medium*, SIAM J. Math. Anal. 38, pp.127-142 (2006)
- [12] **G. Allaire**, **O. Pantz**, *Structural Optimization with FreeFem++*, SMO, 32, pp.173-181 (2006)
- [13] **G. Allaire**, S. Gutierrez, *Optimal Design in Small Amplitude Homogenization*, to appear in M2AN (2007)

- [14] **G. Allaire**, R. Orive, *Homogenization of periodic non self-adjoint problems with large drift and potential*, à paraître dans COCV (2007)
- [15] **G. Allaire**, F. de Gournay, F. Jouve, *Shape and topology optimization of the robust compliance via the level set method*, à paraître dans COCV (2007)
- [16] **G. Allaire**, C. Conca, L. Friz, J. Ortega, *On Bloch waves for the Stokes equations*, DCDS series B, 7, pp.1-28 (2007)
- [17] **G. Allaire**, E. Munoz, M. P. Bendsoe, *On two formulations of an optimal insulation problem*, SMO **33**, pp.363-373 (2007)
- [18] **G. Allaire**, F. Jouve, *Minimum stress optimal design with the level set method*, à paraître dans International Journal of Boundary Elements and Applications (2007)
- [19] **G. Allaire**, G. Faccanoni, S. Kokh, *A strictly hyperbolic equilibrium phase transition model*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 344, pp.135-140 (2007)
- [20] **G. Allaire**, A.-L. Raphael, *Homogenization of a convection-diffusion model with reaction in a porous medium*, C. R. Acad. Sci. Paris, Série I, 344, pp.523-528 (2007)
- [21] **H. Ammari**, F. Santosa. Guided waves in photonic bandgap structure with line defect, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **64**, no. 6, 2018-2033 (2004)
- [22] **H. Ammari**, G. Uhlmann. Reconstruction of the Potential from Partial Cauchy Data for the Schrödinger Equation, *Indiana University Mathematics Journal* **53**, no.1, 168-184. (2004)
- [23] **H. Ammari**, H. Kang. Boundary layer techniques for solving the Helmholtz equation in the presence of small inhomogeneities, *Journal of Mathematical Analysis and Applications* **296**, 190–208. (2004)
- [24] **H. Ammari**, E. Beretta, E. Francini. Reconstruction of thin conductivity imperfections, *Applicable Analysis* **83**, no.1, 63-78. (2004)
- [25] **H. Ammari**, F. Triki. Resonances for microstrip transmission lines, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **64**, no.2, 601–636. (2004)
- [26] **H. Ammari**, F. Triki. Splitting of resonant and scattering frequencies under shape deformation, *Journal of Differential Equations* **202**, no.1, 231–255. (2004)
- [27] **H. Ammari**, J.K. Seo, O. Kwon, E.J. Woo. Mathematical framework and anomaly estimation algorithm for breast cancer detection using TS2000 configuration, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* **51**, 1898–1906. (2004)
- [28] **H. Ammari**, H. Kang. Reconstruction of conductivity inhomogeneities of small diameter via boundary measurements, *Contemporary Mathematics*, Vol. **348**, 23–32, (2004)
- [29] **H. Ammari**, D. Volkov. The leading order term in the asymptotic expansion of the scattering amplitude of a collection of finite number of dielectric inhomogeneities of small diameter, *International Journal for Multiscale Computational Engineering* **3**, 285–296. (2005)
- [30] **H. Ammari**, H. Kang, E. Kim, M. Lim, Reconstruction of closely spaced small inclusions, *SIAM Journal on Numerical Analysis* **42**, no. 6, 2408–2428. (2005)
- [31] **H. Ammari**, O. Kwon, J.K. Seo et E.J. Woo. T-scan electrical impedance imaging system for anomaly detection, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **65**, no.1, 252–266. (2005)

- [32] **H. Ammari**, M. Asch et H. Kang. Boundary perturbations of voltage potentials caused by small conductivity inhomogeneities nearly touching the boundary, *Advances in Applied Mathematics* **35**, no.4, 368–391. (2005)
- [33] **H. Ammari**, H. Kang, K. Touibi. Boundary layer techniques for deriving the effective properties of composites materials, *Asymptotic Analysis* **41**, no.2, 119–140. (2005)
- [34] **H. Ammari**, H. Kang, M. Lim. Gradient estimates for solutions to the conductivity problem, *Mathematische Annalen* **332**, 277–286. (2005)
- [35] **H. Ammari**, E. Iakovleva, D. Lesselier. A MUSIC algorithm for locating small inclusions buried in a half-space from the scattering amplitude at a fixed frequency, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **3**, 597–628. (2005)
- [36] **H. Ammari**, H. Kang et K. Kim. Polarization tensors and effective properties of anisotropic composite materials, *Journal of Differential Equations* **215**, 401–428. (2005)
- [37] **H. Ammari**, E. Iakovleva, D. Lesselier. Two numerical methods for recovering small inclusions from the scattering amplitude at a fixed frequency, *SIAM Journal on Scientific Computing* **27**, 130–158. (2005)
- [38] **H. Ammari**, E. Iakovleva, H. Kang. Reconstruction of a small inclusion in a 2-D open waveguide, *SIAM Journal on Applied Mathematics* **65**, no. 6, 2107–2127. (2005)
- [39] **H. Ammari**, E. Iakovleva, H. Kang, K. Kim. Direct algorithms for thermal imaging of small inclusions, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **4**, 1116–1136. (2005)
- [40] **H. Ammari**, H. Kang, K. Touibi. Approximation of a conductivity inclusion close to a planar surface, *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)* **57**, 234–243. (2006)
- [41] **H. Ammari**, E. Beretta, E. Francini. Reconstruction of thin conductivity inhomogeneities, II. The case of multiple segments, *Applicable Analysis*, **85**, 87–105. (2006)
- [42] **H. Ammari**, H. Kang et M. Lim. Effective parameters of elastic composites, *Indiana University Mathematics Journal* **55**, 903–922. (2006)
- [43] **H. Ammari**, H. Kang, F. Santosa. Scattering of electromagnetic waves by thin dielectric structures, *SIAM Journal on Mathematical Analysis* **38**, 1329–1342. (2006)
- [44] **H. Ammari**, H ; Kang. Reconstruction of elastic inclusions of small volume via dynamic measurements and boundary control, *Applied Mathematics and Optimization* **54**, 223–235. (2006)
- [45] **H. Ammari**, H. Kang. Generalized polarization tensors, inverse conductivity problems, and dilute composite materials : A review, *Contemporary Mathematics*, Volume **408**, 1–67, (2006).
- [46] **H. Ammari**, Y. Capdeboscq, H. Kang, E. Kim, M. Lim. Numerical attainability by simply connected domains of optimal bounds for the polarization tensor, *European Journal of Applied Mathematics* **17** (2006), 201–219.(2006)
- [47] **H. Ammari**, H. Kang, S. Soussi, H. Zribi. Layer potential techniques in spectral analysis. Part II : analysis of spectral properties of high contrast band-gap materials, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **5**, 646–663. (2006)

- [48] **H. Ammari**, H. Kang, E. Kim. Approximate boundary conditions for patch antennas mounted on thin layers, *Communications in Computational Physics* **1**, 1076–1095. (2006)
- [49] **H. Ammari**, H. Kang, S. Soussi, H. Zribi. Layer potential techniques in spectral analysis. Part II : analysis of spectral properties of high contrast band-gap materials, *Multiscale Modeling and Simulation : A SIAM Interdisciplinary Journal* **5**, 646–663. (2006)
- [50] **H. Ammari**, H. Kang, E. Kim. Approximate boundary conditions for patch antennas mounted on thin layers, *Communications in Computational Physics* **1**, 1076–1095. (2006)
- [51] **H. Ammari**, E. Iakovleva, D. Lesselier, G. Perrusson. A MUSIC-type electromagnetic imaging of a collection of small three-dimensional inclusions, *SIAM Journal on Scientific Computing* **29**, 674–709. (2006)
- [52] **H. Ammari**, H. Kang, H. Lee. A boundary integral method for computing elastic moment tensors for ellipses and ellipsoids, *Journal of Computational Mathematics* **25**, 2–12. (2007)
- [53] **H. Ammari**, H. Kang, H. Zribi. Electrostatics in high contrast materials, *Journal of Computational Mathematics* **25**, 244–251. (2007)
- [54] **H. Ammari**, R. Griesmaier, M. Hanke, Identification of small inhomogeneities : asymptotic factorization, *Mathematics of Computation* **76**, 1425–1448. (2007)
- [55] **H. Ammari**, G. Dassios, H. Kang, M. Lim. Estimates for the electric field in the presence of adjacent perfectly conducting spheres, *Quarterly of Applied Mathematics* **65**, 339–355. (2007)
- [56] **H. Ammari**, H. Kang, H. Lee. Asymptotic expansions for eigenvalues of Lamé system in domains with small inclusions, à paraître dans *Communications in Partial Differential Equations*.
- [57] **H. Ammari**, P. Garapon, H. Kang, H. Lee. A method of biological tissues elasticity reconstruction using magnetic resonance elastography measurements, à paraître dans *Quarterly of Applied Mathematics*.
- [58] **H. Ammari**, H. Kang, H. Lee, J. Lee, M. Lim. Optimal estimates for the electric field in two-dimensions, à paraître dans *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*.
- [59] **E. Bacry**, A. Kozhemyak, J.F.Muzy. *Extreme values and fat tails of multifractal fluctuations*, Phys. Rev. E **73**, 066114 (2006)
- [60] **E. Bacry**, A. Kozhemyak, J.F.Muzy. *Continuous cascade models for asset returns*, A paraitre dans *Journal of economic dynamics and control* (2007).
- [61] **J. Bion-Nadal**. A free Girsanov property for free Brownian motions. *Journal of Operator Theory*, vol 55, issue 2, p 373-392 (2006)
- [62] **J.F. Bonnans**, Th. Guilbaud, A. Ketfi-Cherif, C. Sagastizábal, D. von Wissel, H. Zidani. *Parametric optimization of hybrid car engines*. OPTIMIZATION AND ENGINEERING 5-4, 395-415, (2004).
- [63] **J.F. Bonnans**, E. Ottenwaelter, H. Zidani. *A fast algorithm for the 2D HJB equation of stochastic control*. ESAIM :M2AN 38-4, 723-735, (2004).

- [64] **J.F. Bonnans**, H. Ramirez. *Perturbation analysis of second-order cone programming problems*. MATHEMATICAL PROGRAMMING SERIES B 104, 205–227, (2005). Special issue dedicated to R.T. Rockafellar.
- [65] **J.F. Bonnans**, A. Hermant. *Conditions d’optimalité du second ordre nécessaires ou suffisantes pour les problèmes de commande optimale avec une contrainte sur l’état et une commande scalaire*. NOTES AUX COMPTES-RENDUS DE L’ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS, Sér. I 343, 473–478. (2006)
- [66] **J.F. Bonnans**, J. Laurent-Varin. *Computation of order conditions for symplectic partitioned Runge-Kutta schemes with application to optimal control*. NUMERISCHE MATHEMATIK 103-1, 1–10. (2006)
- [67] **J.F. Bonnans**, S. Maroso, H. Zidani. *Stochastic differential games : the adverse stopping game*. IMA J. NUMERICAL ANALYSIS 26-1, 188–212. (2006)
- [68] **J.F. Bonnans**, S. Maroso, H. Zidani. *Stochastic differential games : the adverse stopping game*. IMA J. NUMERICAL ANALYSIS 26-1, 188–212, (2006).
- [69] **J.F. Bonnans**, A. Hermant. *Stability and Sensitivity Analysis for Optimal Control Problems with a First-order State Constraint*. ESAIM :COCV, to appear. (2007)
- [70] **J.F. Bonnans**, A. Hermant. *Well-Posedness of the Shooting Algorithm for State Constrained Optimal Control Problems with a Single Constraint and Control*. SIAM J. CONTROL OPTIMIZATION, à paraître en (2007).
- [71] **J.F. Bonnans**, A. Hermant. *No-gap Second-order Optimality Conditions for Optimal Control Problems with a Single State Constraint and Control*. Rapport de Recherche INRIA 5837 (2006). MATHEMATICAL PROGRAMMING SERIES B, Special issue in the honor of S.M. Robinson, à paraître en (2007).
- [72] **J.F. Bonnans**, N. Bérend, M. Haddou, J. Laurent-Varin, Ch. Talbot. *An Interior-Point Approach to Trajectory Optimization*. J. GUIDANCE, CONTROL AND DYNAMICS, 30-5, 1228–1238 (2007).
- [73] **J.F. Bonnans**, S. Maroso, H. Zidani. *Error estimates for a stochastic impulse control problem*. APPLIED MATHEMATICS AND OPTIMIZATION 55-3, 327–357 (2007).
- [74] **J.F. Bonnans**, M. André. *Fast computation of the leastcore and prenucleolus of cooperative games*. RAIRO-RO, à paraître (2008).
- [75] **A. Chambolle**. An algorithm for mean curvature motion. *Interfaces Free Bound.*, 6(2) :195–218, (2004).
- [76] **A. Chambolle**. An algorithm for total variation minimization and applications. *J. Math. Imaging Vision*, 20(1-2) :89–97, (2004). Special issue on mathematics and image analysis.
- [77] **A. Chambolle**. An approximation result for special functions with bounded deformation. *J. Math. Pures Appl. (9)*, 83(7) :929–954, (2004).
- [78] **A. Chambolle**. Addendum to : “An approximation result for special functions with bounded deformation” [J. Math. Pures Appl. (9) **83** (2004), no. 7, 929–954 ; mr2074682]. *J. Math. Pures Appl. (9)*, 84(1) :137–145, (2005).
- [79] **A. Chambolle**, F. Alter, V. Caselles. A characterization of convex calibrable sets in \mathbb{R}^N . *Math. Ann.*, 332(2) :329–366, (2005).

- [80] **A. Chambolle**, F. Alter, V. Caselles. Evolution of characteristic functions of convex sets in the plane by the minimizing total variation flow. *Interfaces Free Bound.*, 7(1) :29–53, (2005).
- [81] **A. Chambolle**, J.-F. Aujol. Dual norms and image decomposition models. *International Journal of Computer Vision*, 63(1) :85–104, (2005).
- [82] **A. Chambolle**, Jean-François Aujol, Gilles Aubert, Laure Blanc-Féraud. Image decomposition into a bounded variation component and an oscillating component. *J. Math. Imaging Vision*, 22(1) :71–88, (2005).
- [83] **A. Chambolle**, Abdelmounim Belahmidi. Time-delay regularization of anisotropic diffusion and image processing. *M2AN Math. Model. Numer. Anal.*, 39(2) :231–251, (2005).
- [84] **A. Chambolle**, Benoît Desjardins, Maria J. Esteban, Céline Grandmont. Existence of weak solutions for the unsteady interaction of a viscous fluid with an elastic plate. *J. Math. Fluid Mech.*, 7(3) :368–404, (2005).
- [85] **A. Chambolle**, Giovanni Bellettini, Vicent Caselles, Matteo Novaga. Crystalline mean curvature flow of convex sets. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 179(1) :109–152, (2006).
- [86] **A. Chambolle**, Vicent Caselles. Anisotropic curvature-driven flow of convex sets. *Nonlinear Anal.*, 65(8) :1547–1577, (2006).
- [87] **A. Chambolle**, Matteo Novaga. Convergence of an algorithm for the anisotropic and crystalline mean curvature flow. *SIAM J. Math. Anal.*, 37(6) :1978–1987 (electronic), (2006).
- [88] **A. Chambolle**, Andrea Braides, Margherita Solci. A relaxation result for energies defined on pairs set-function and applications. *ESAIM : COCV*, (2007).
- [89] **A. Chambolle**, Vicent Caselles, Matteo Novaga. Uniqueness of the cheeger set of a convex body. *Pacific J. Math.*, 231(2), (2007).
- [90] **A. Chambolle**, Alessandro Giacomini, Marcello Ponsiglione. Piecewise rigidity. *J. Funct. Anal.*, 244(1) :134–153, (2007).
- [91] **A. Chambolle**, Alessandro Giacomini, Marcello Ponsiglione. Crack initiation in brittle materials. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, (2008). to appear.
- [92] **A. Chambolle**, Matteo Novaga. Approximation of the anisotropic mean curvature flow. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 17(6) :833–844, (2007).
- [93] **A. Chambolle**, Margherita Solci. Interaction of a bulk and a surface energy with a geometrical constraint. *SIAM J. Math. Analysis*, 39(1) :77–102, (2007).
- [94] **R. Cont**, S. Biagini. A model-free characterization of arbitrage-free pricing rules. in : *Ogawa and Watanabe (Eds.) : Stochastic processes and applications to mathematical finance*, World Scientific (2007)
- [95] **R. Cont**, P. Tankov, E. Voltchkova. Hedging options in models with jumps,. in : *Stochastic analysis and applications* (Abel Symposium 2005).
- [96] **R. Cont**, E. Voltchkova. Finite difference methods for option pricing in jump-diffusion models. *SIAM Journal of Numerical Analysis*. Vol 43, No. 4, pp. 1596-1626.

- [97] **R. Cont**, **P. Tankov**. Retrieving Levy processes from option prices : regularization of a nonlinear inverse problem. *SIAM Journal of Control and Optimization* 45, 1 (2006)
- [98] **R. Cont**, **E. Voltchkova**. Integrodifferential equations for option prices in exponential Levy models. *Finance and Stochastics* Volume 9, Number 3, 299-325 (2005)
- [99] **R. Cont**. Model uncertainty and its impact on derivative instruments. *Mathematical Finance*. Vol 16, 519-542, July 2006.
- [100] **R. Cont**, **S. BenHamida**. Recovering Volatility from Option Prices by Evolutionary Optimization. *Journal of Computational Finance*. Vol .8, No 3, 1-34.
- [101] **R. Cont**, **P. Tankov**. Nonparametric calibration of jump-diffusion processes. *Journal of Computational Finance*. Vol .7, No 3, pp 1-49.
- [102] **R. Douc**, **O. Cappé**, **E. Moulines** and **J. Olsson**. Sequential Monte Carlo smoothing with application to parameter estimation in non linear state space models. A paraître dans *Bernoulli*
- [103] **R. Douc**, **E. Moulines**. Limit theorems for weighted samples with applications to Sequential Monte Carlo Methods. A paraître dans *Annals of Statistics*.
- [104] **R. Douc**, **F. Roueff**, **P. Soulier**. On the existence of some ARCH(∞) processes". A paraître dans *Stochastic Processes and their Applications*.
- [105] **R. Douc**, **A. Guillin**, **J.M. Marin**, **C.P. Robert**. Minimum variance importance sampling via Population Monte Carlo. A paraître dans *ESAIM Prob and Stat*.
- [106] **R. Douc**, **A. Guillin** and **E. Moulines**. Limit theorems for subgeometric Markov chains". A paraître dans *Annales de l'I.H.P.*
- [107] **R. Douc**, **E. Moulines**, **P. Soulier**. Computable bounds for subgeometric ergodic Markov chains. A paraître dans *Bernoulli*.
- [108] **R. Douc**, **A. Guillin**, **J.M. Marin**, **C.P. Robert**. Convergence of adaptive mixtures of importance sampling schemes. *Annals of Statistics* 35 (2007), no 1.
- [109] **R. Douc**, **A. Guillin** and **J. Najim**. Moderate deviation in particle filtering. *Ann. Appl. Probab.* 15 (2005), no. 1B, 587-614
- [110] **R. Douc**, **E. Moulines**, **T. Ryden**. Asymptotic properties of the maximum likelihood estimator in autoregressive models with Markov regime. *Ann. Statist.* 32 (2004), no. 5, 2254-2304
- [111] **R. Douc**, **E. Moulines**, **J. Rosenthal**. Quantitative bounds for geometric convergence rates of Markov chains. *Ann. Appl. Probab.* 14 (2004), no. 4, 1643-1665.
- [112] **R. Douc**, **G. Fort**, **E. Moulines**, **P. Soulier**. Practical drift conditions for subgeometric rates of convergence. *Ann. Appl. Probab.* 14 (2004), no. 3, 1353–1377.
- [113] **V. Durrleman**, **R. Carmona**. Generalizing the Black-Scholes formula to multivariate contingent claims, *Journal of Computational Finance*, V. 9, N. 2 : 43–67 (2006)
- [114] **N. El Karoui**, **P. Bank**. A Stochastic Representation Theorem with Applications to Optimization and Obstacle Problems. *Annals of Probability*, Vol. 32, N^o1B, 1030-1067 (2004)
- [115] **N. El Karoui**, **M. Jeanblanc**, **V. Lacoste**. Optimal Portfolio management with Insurance with American capital guarantee. *Journal of Economic Dynamics and Control*. Vol.29, Issue 3, Pages 449-468, March (2005)

- [116] **N. El Karoui**, H.Foellmer. Non linear Potential Theory. *Annales de l'IHP(B) Probability and Statistics*, Vol 41,n;3, May-June 2005, pp 269-283, May-June (2005) En hommage à P.A.Meyer
- [117] **N. El Karoui**, B. Bouchard, N.Touzi. Maturity randomization for stochastic control problems. *Annals of Applied Probability*, Vol.15, N;4, 2575-2605 (2005)
- [118] **N. El Karoui**, P. Barrieu. Inf-convolution of risk measures and Optimal risk transfer. *Finance et Stochastics*, Vol.9, N;2, Avril (2005) (Recompensé par le prix Europlace du meilleur article de Finance 2006).
- [119] **N. El Karoui**, A.Meziou. Constrained Optimization with respect to Stochastic Dominance. Application to Portfolio Insurance. *Mathematical Finance*, Vol 16,n;1, pp103-117, January (2006)
- [120] **N. El Karoui**, C.Constantini, E.Gobet. Boundary Sensitivities for Diffusion Processes in a time-space domain. *Applied Mathamatics and Optimization*, Vol.54, N;2, Sept (2006)
- [121] **N. El Karoui**, A. Meziou. Max-Plus Decomposition of Supermartingale, Optimal Stopping and Stochastic order. *Annals of Probability* (Fin 2007)
- [122] **C. Graham**. Functional central limit theorems for a large network in which customers join the shortest of several queues. *Probability Theory and Related Fields*, 131, 97–120, (2005)
- [123] **V. Giovangigli**, M. Massot. Entropic Structure of Multicomponent Reactive Flows with Partial Equilibrium Reduced Chemistry. *Math. Meth. Appl. Sci.*, **27**, (2004), pp. 739–768
- [124] **V. Giovangigli**, E. Burman, A. Ern. Busen Flames Simulation by Finite Elements on Adaptively Refined Unstructured Triangulations. *Comb. Theor. mod.*, **8**, (2004), pp. 65–84
- [125] **V. Giovangigli**, B. Graille Asymptotic Stability of Equilibrium States for Ambipolar Plasmas, *Math. Mod. Meth. Appl. Sci.*, **14**, (2004), pp. 1361–1399
- [126] **V. Giovangigli**, B. Graille. The Local Cauchy Problem for Ionized Magnetized Reactive Gas Mixtures. *Math. Meth. Appl. Sci.*, **28**, (2005), pp. 1647–1672
- [127] **V. Giovangigli**, B. Graille. Le Problème de Cauchy Local pour les Plasmas Dissipatifs. *C. R. Acad. Sci. Paris*, Ser. I, **340**, (2005), pp. 119–124
- [128] **V. Giovangigli**. Entropies d'Ordre Supérieur *C. R. Acad. Sci. Paris*, Ser. I, **343**, (2006), pp. 179–184
- [129] **V. Giovangigli**, Nicolas Meynet, Mitchell Smooke. Application of Continuation Techniques to Ammonium Perchlorate Plane Flames. *Combustion Theory and Modelling*, **10**, (2006), pp. 771–798
- [130] **V. Giovangigli**. Higher Order Entropies. *Arch. Rat. Mech. Anal.*, (sous presse) (2007)
- [131] **V. Giovangigli**, Y. Fabignon, J.F. Trubert, V. Borie, A. Bizot, N. Meynet. Some Aspects of Combustion Modeling for Solid Energetic Materials, *Aerospace Science and Technology*, **11**, (2007), pp. 5–12
- [132] **V. Giovangigli**. Asymptotics of Higher Order Entropies *ESAIM Proceedings*, **18**, (2007), pp. 99–119.

- [133] **V. Giovangigli**, G. Billet, G. de Gassowski ; Impact of Volume Viscosity on a Shock/Hydrogen Bubble interaction, *Combustion Theory and Modelling*, (sous presse) (2007).
- [134] **K. Hamdache**, M. Tilioua. Interlayer exchange coupling for ferromagnets through spacers. *SIAM J. Appl. Math.* Vol. 64, N. 3, 1077–1097 (2004).
- [135] **K. Hamdache**, D. Hamroun. Local solutions to a model of piezoelectric materials. *Math. Meth. Appl. Sci.*, 27, 1657–1670 (2004).
- [136] **K. Hamdache**, I. Ngingone-Eya. Time harmonic solutions to a model of ferroelectric materials. *Applicable Analysis*, 84, N 7, 721–736 (2005)
- [137] **K. Hamdache**, D. Hamroun. Ferromagnets with biquadratic exchange coupling energy. Global existence of weak solutions. *Math. Meth. Appl. Sci.*, 28 : 1403-1421 (2005)
- [138] **K. Hamdache**, M. Tilioua. The Landau-Lifshitz equations and the damping parameter. *Bolletino U.M.I.*, (8), 9B N 2, 283-297 (2006)
- [139] **K. Hamdache**, D. Hamroun, M. Tilioua. On a model of magnetization switching by spin-polarized current. *Japan Journ. of Indust. and Appl. Math.*, . Vol 23, N 1, 105-125 (2006)
- [140] **K. Hamdache**, N. Aïssa. Asymptotics of time harmonic solutions to a thin ferroelectric model. *Abstract and Applied Analysis* , Art. ID 61629, 14 pp (2007)
- [141] **K. Hamdache**, Y. Amirat, F. Murat. Global weak solutions to equations of motion for magnetic fluids, *J. Math. Fluid Mech.*, pp 1-26 (2007)
- [142] **K. Hamdache**, Y. Amirat. Global weak solutions to a ferrofluid flow model. *A paraitre dans M2AS* (2007)
- [143] **C. Hillairet**. Existence of an equilibrium on a financial market with discontinuous prices, asymmetric information and non trivial initial σ -fields. , *Mathematical Finance*, Vol. 15, No 1, 99-117. (2005)
- [144] **C. Hillairet**. Comparison of insider's optimal strategies depending on the type of side-information. , *Stochastic Processes and their Applications* 115, 1603-1627. (2005)
- [145] **C. Hillairet**, M. Pontier. Comparison of insiders' optimal strategies, three different types of side-information . *RIMS symposium, the 7th workshop on Stochastic Numerics, Kyoto*, June 27-29, (2005)
- [146] **S. Mallat**, E. Le Pennec. Sparse geometric image representation with bandelets, *IEEE Trans. on Image Processing*, vol 14, no. 4, p. 423-438, Avril (2005)
- [147] **S. Mallat**, E. Le Pennec. Bandelet image approximation and compression, *SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 4, no. 3, pp 992-1039, (2005)
- [148] **S. Mallat**, G. Peyré. Surface compression with geometric bandelets, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'05)*, vol. 24, no. 3, (2005)
- [149] **P. Martinon**, **J.F. Bonnans**, E. Trélat. Singular arcs in the generalized Goddard's Problem. *Submitted to J. Optim. Theory Applications*. (2007)
- [150] **P. Martinon**, J.Gergaud. Using switching detection and variational equations for the shooting method. *Optimal Control Applications & Methods* 28-2, 95–116. (2007)

- [151] **P. Martinon**, J. Gergaud. An application of PL continuation methods to singular arcs problems, Proceedings of the 12th French-German-Spanish Conference on Optimization, Avignon (2004), *Lectures Notes in Economics and Mathematical System* **563**, 163–186, Springer (2006).
- [152] **P. Martinon**, J. Gergaud, T. Haberkorn. Low thrust minimum-fuel orbital transfer : an homotopic approach. *Journal of Guidance, Control and Dynamics* 27-6, 1046-1060. (2004)
- [153] **S. Méléard**, N. Champagnat, R. Ferrière. Unifying evolutionary dynamics : from individual stochastic processes to macroscopic models, *Theoretical Population Biology* 69, 297–321. (2006)
- [154] **S. Méléard**, H. Guérin, E. Nualart. Estimates for the density of a nonlinear Landau process, *Journal of Functional Analysis* 238, 649–677. (2006)
- [155] **S. Méléard**, N. Champagnat. Invasion and adaptive evolution for individual-based spatially structured populations, *J. Math. Biology* 55, 147–188. (2007)
- [156] **S. Méléard**, J. Fontbona. A random space-time birth particle method for 2d vortex equations with L^1 -external field, *to appear in Mathematics of Computation*.
- [157] **S. Méléard**, J. Fontbona, H. Guérin. Measurability of optimal transportation and convergence rate for Landau type interacting particle systems, *to appear in PTRF*.
- [158] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, S. Ossandon. Numerical Study of the Spectral 3D Green's Function Singularities for Piezoelectric SAW Components. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* (2005)
- [159] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, I. Muga. The Helmholtz equation with impedance in a half-space. *C. R. Acad. Sci. Paris, Série I*, **341**, 9, 561-566, (2005)
- [160] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, Hein, R., I. Muga. The Helmholtz equation with impedance Boundary Conditions in a Half-plane. Application to Compute Resonances in Marine Hydraulics. *International Conference on Computational Methods in Marine Engineering* (MARINE 2005), Oslo, Noruega, 579-590, (2005)
- [161] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, I. Muga. The Helmholtz equation with impedance in a half-plane. *C. R. Acad. Sci. Paris, Série I*, **340**, 7, 483–488, (2005)
- [162] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, E. Godoy. Computing Green's function of elasticity in a half-space with impedance boundary condition. *C. R. Acad. Sci. Paris, Mécanique*, **334**, 9, 725-731, (2006)
- [163] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, I. Muga. The Helmholtz equation in a locally perturbed half-plane with passive boundary. *IMA Journal of Applied Mathematics*, **71**, 853-876, (2006)
- [164] **J.-C. Nédélec**, M. Duran, Hein, R. Computing numerically the Green's function of the half-plane Helmholtz operator with impedance boundary conditions. *Numerische Mathematik*, **107**, 2, 295-314, (2007)
- [165] **O. Pantz**, K. Trabelsi. Simultaneous shape, topology, and homogenized properties optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 34, 4, 361–365, 2007
- [166] **O. Pantz**. The modeling of deformable bodies with frictionless (self-)contacts, *Arch. Ration. Mech. Anal.*, Archive for Rational Mechanics and Analysis, To appear,

- [167] **O. Pantz**, Contacts et auto-contacts sans frottement, *C. R. Math. Acad. Sci. Paris*, 341, 6, 393–398, (2005)
- [168] **O. Pantz**, Sensibilité de l'équation de la chaleur aux sauts de conductivité, *C. R. Math. Acad. Sci. Paris*, 341, 5, 333–337, (2005)
- [169] **S. Roelly**, P. Dai Pra. An existence result for infinite-dimensional Brownian diffusions with non-regular and non Markovian drift, *Markov Processes and Related Fields*, 10 (2004) 113–136
- [170] **S. Roelly**, M. Sortais. Space-time asymptotics of an infinite-dimensional diffusion having a long-range memory, *Markov Processes and Related Fields*, 10 (2004) 653–686
- [171] **S. Roelly**, D. Dereudre. On Gibbsianness of infinite-dimensional diffusions, *Markov Processes and Related Fields*, 10 (2004) 395–410
- [172] **S. Roelly**, M. Thieullen. Duality formula for the bridges of a Brownian diffusion. Application to gradient drifts, *Stochastic Processes and their Applications*, 115 (2005) 1677–1700
- [173] **S. Roelly**, D. Dereudre. Propagation of Gibbsianness for infinite-dimensional Gradient Brownian diffusions, *Journal of Statistical Physics*, 121 (2005) 511–551
- [174] **S. Roelly**, M. Fradon. Infinite System of Brownian Balls : Equilibrium Measures are Canonical Gibbs, *Stochastics and Dynamics*, 6-1 (2006) 97–122
- [175] **N. Touzi**, E. Jouini, W. Schachermayer. Law-invariant risk measures have the Fatou property. *Advances in Mathematical Economics*, 9, 49-72 (2006).
- [176] **N. Touzi**, M. Mrad, A. Zeghal. Monte Carlo estimation of a joint density using Malliavin Calculus. *Computational Economics*, 27, 4, 497-531 (2006).
- [177] **N. Touzi**, R. Elie, J.-D. Fermanian. Kernel estimation of Greek weights by parameter randomization. *Annals of Applied Probability*, 4, 1399-1423 (2007).
- [178] **N. Touzi**, P. Cheridito, H.M. Soner, N. Victoir. Second order BSDE's and fully nonlinear PDE's. *Communications in Pure and Applied Mathematics* 60, 1081-1110 (2007).
- [179] **N. Touzi**, M. Soner. Hedging under gamma constraints by optimal stopping and face-lifting. *Mathematical Finance*, 17, 59-80 (2007).
- [180] **N. Touzi**, E. Jouini, W. Schachermayer. Optimal risk sharing under law-invariant monetary utility functions. *Mathematical Finance*, to appear.
- [181] **N. Touzi**, F. Astic. No-Arbitrage characterization for financial markets with liquidity risk. *Journal of Mathematical Economics*, to appear.
- [182] **N. Touzi**, I. Ben Tahar. The dynamic programming equation for the problem of optimal investment under capital gains taxes. *SIAM Journal on Control and Optimization*, to appear.
- [183] **N. Touzi**, R. Carmona. Multiple optimal stopping and the valuation of swing options, *Mathematical Finance*, to appear.
- [184] **N. Touzi**, G. Carlier, I. Ekeland. Optimal derivatives design for mean-variance agents under adverse selection. *Mathematics and Financial Economics* 1, 57-80 (2007).

Articles dans des revues sans comité de lecture

- [185] **G. Allaire.** Topology optimization with the homogenization and the level-set method, in *Nonlinear Homogenization and its Applications to Composites, Polycrystals and Smart Materials*, P. Ponte Castaneda et al. eds., pp.1-13, Kluwer (2004)
- [186] **G. Allaire, K. El Ganaoui.** Homogenization of a Conductive and Radiative Heat Transfer Problem, Simulation with Cast3m, *Proceedings of the 2005 ASME Summer heat transfer conference*, July 17-22, (2005), San Francisco
- [187] **G. Allaire, S. Gutierrez,** Optimal Design with Small Contrast, in *IUTAM symposium on topological design optimization of structures, machines and materials*, M. Bendsoe et al. eds., pp137-146, Springer (2006)
- [188] **G. Allaire, F. Jouve,** Coupling the level set method and the topological gradient in structural optimization, in *IUTAM symposium on topological design optimization of structures, machines and materials*, M. Bendsoe et al. eds., pp 3-12, Springer (2006)

Conférences invitées

- [189] **G. Allaire.** Multiscale Optimization Methods and Applications. Gainesville Florida, février (2004).
- [190] **G. Allaire.** Free boundary problems. Montecatini, juin (2004).
- [191] **G. Allaire.** Premier congrès Canada-France des sciences mathématiques, Toulouse, juillet (2004).
- [192] **G. Allaire.** Summer school "Shape and topology optimization", Lisboa, septembre (2004).
- [193] **G. Allaire.** IMA Workshop : Future Challenges in Multiscale Modeling and Simulation, Minneapolis, novembre (2004).
- [194] **G. Allaire.** Recent Advances in Homogenization, Trento, novembre (2004).
- [195] **G. Allaire.** Multiscale modelling Conference, Bath, septembre (2005).
- [196] **G. Allaire.** Workshop on level set methods, Linz, septembre (2005).
- [197] **G. Allaire.** IUTAM workshop on topology optimization, Copenhague, octobre (2005).
- [198] **G. Allaire.** Nonlinear pde's : homogenization and kinetic equations, Vienne, juin (2006).
- [199] **G. Allaire.** Trends and challenges in calculus of variations and its applications, Tolède, août (2006).
- [200] **G. Allaire.** 6th European Solid Mechanics Conference, Budapest, août (2006).
- [201] **G. Allaire.** CIME session on Quantum transport : modelling, analysis and asymptotics, Cetraro, septembre (2006).
- [202] **G. Allaire.** 12ème école d'été franco-espagnole J.-L. Lions de simulation numérique en physique et ingénierie. Castro Urdiales, septembre (2006).

- [203] **G. Allaire.** 6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Zurich, juillet (2007).
- [204] **H. Ammari.** Conférencier invité au "Oberwolfach Conference Computational Electromagnetism", Oberwolfach, février (2004).
- [205] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Computational Methods in Multiscale Analysis and Applications", Floride, février (2004).
- [206] **H. Ammari.** Conférencier invité à "European Workshop on Shape, Size and Location detection", Paris, avril (2004).
- [207] **H. Ammari.** Conférencier invité à "The International Conference on Inverse Problems : Modeling and Simulation", Fethiye, Turquie, juin (2004).
- [208] **H. Ammari.** Conférencier invité à "The Second International Conference on Inverse Problems-Recent Development in Theories and Numerics", Shangai, juin (2004).
- [209] **H. Ammari.** Conférencier invité au "Premier Congrès Canada-France des Sciences Mathématiques (Session d'Analyse Numérique)", Toulouse, juillet (2004).
- [210] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Conference on System Modeling and Optimization", Turin, juillet (2005).
- [211] **H. Ammari.** Conférencier invité à Mini Symposia on "Microwave Imaging", AIP 2005, Cirencester, UK, juin (2005).
- [212] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Mathematical Modeling of Novel Optical Materials and Devices", AMS-SIAM joint summer research conference, Snowbird, Utah, juin (2005).
- [213] **H. Ammari.** Conférencier invité au " 3rd International Conference on Inverse Problems, Control and Shape Optimization", Nice, avril (2006).
- [214] **H. Ammari.** Conférencier invité à Inverse Problems in Applied Sciences -towards breakthrough- Hokkaido University, Sapporo, Japan, juillet (2006).
- [215] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Recent Mathematical and Computational Developments of Maxwell's Equations : Challenges and Frontiers", Weihai, Chine, juillet (2006).
- [216] **H. Ammari.** Conférencier invité à "BIRS Workshop on Inverse Problems and Applications", Vancouver, Canada, août (2006).
- [217] **H. Ammari.** Conférencier invité à " Scattering Theory and Related Problems", Grèce, septembre (2006).
- [218] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Second LNCC Meeting on Computational Modelling", Rio de Janeiro, Brésil, août (2006).
- [219] **H. Ammari.** Conférencier invité à "Calderon Conference", Rio de Janeiro, Brésil, janvier (2007).
- [220] **H. Ammari.** Conférencier invité à " Inverse Scattering", Oberwolfach, mars (2007).
- [221] **H. Ammari.** Conférencier invité à " Numerical Analysis : Multiscale Methods, Adaptivity & Complexity, University of Bath, UK. ", Bath, UK, septembre (2007).
- [222] **H. Ammari.** Conférencier invité à 8th International Conference in Scattering Theory and Biomedical Engineering, Lefkada, Grèce, septembre (2007).

- [223] **E. Bacry**. Econophysics Colloquium, Canberra, Australie, Novembre (2005).
- [224] **J. Bion-Nadal**. Conférence Pricing and Risk Measuring in Incomplete Markets and in context of Uncertainty. dans le cadre du workshop “First Conference on Advanced Mathematical Methods for Finance”, Side Antalya, Turkey, 26-29/04/(2006).
- [225] **J. Bion-Nadal**. Conférence Dynamic risk measuring and pricing in incomplete markets. dans le cadre du workshop “Risk Measures”, Université d’Evry, 06-07/07/(2006).
- [226] **J. Bion-Nadal**. Séminaire Dynamic Risk Measures and Bid Ask Dynamic Pricing Procedures. dans le cadre des séminaires. Talks in Finance and Insurance Mathematics. ETH Zurich, 16/11/(2006).
- [227] **J. Bion-Nadal**. Conférence Bid Ask Dynamic Pricing under Transaction Costs and Liquidity Risk dans le cadre du workshop “Innovations in Mathematical Finance”Loen, Norway, 25/06-01/07/(2007).
- [228] **J.F. Bonnans**. Internation School of Mathematics G. Stampacchia. Workshop on Large Scale Nonlinear Optimization. Erice - Sicile. 22 juin - 1er juillet, (2004)
- [229] **J.F. Bonnans**. Journées MAS “Contrôle stochastique et statistique”, Nancy, Sept. (2004).
- [230] **J.F. Bonnans**. Shanghai International Workshop on Optimization (IWOS 2005), Tongji University, Shanghai. May 28-30, (2005).
- [231] **J.F. Bonnans**. The Veszprém Optimization Conference : Advanced Algorithms (VOCAL). Veszprém, Hungary. December 13-15, (2006).
- [232] **J.F. Bonnans**. Europt-OMS joint meeting : 2nd Conference on Optimization Methods and Software and 6th EUROPT Workshop "Advances in Continuous Optimization", Prague, July 4-7, (2007)
- [233] **A. Chambolle**. Material Theories. Oberwolfach Workshop No 0751, 16-22 décembre (2007).
- [234] **A. Chambolle**. Quasiconvexity, Quasiregularity, and Rigidity of Gradients. Rigidity results for fractured bodies. Univ. Ratisbonne (Allemagne), 23-26 mai (2007).
- [235] **A. Chambolle**. Analysis and Numerics for Rate-Independent Processes. Piecewise rigidity. Oberwolfach Workshop No 0709, 25 février- 3 mars (2007).
- [236] **A. Chambolle**. Trends in Mathematical Imaging and Surface Processing. Some properties of the minimizers of the Total Variation. Application to surface evolution problem. Oberwolfach Workshop No 0704, 21-27 janvier (2007).
- [237] **A. Chambolle**. Mathematical Aspects of Image Processing and Computer Vision 2006. An algorithm for total variation minimization : Applications to image denoising and image decomposition problems. Univ. Sapporo, Japon, 16-18 novembre (2006).
- [238] **A. Chambolle**. Mathematical Aspects of Image Processing and Computer Vision 2006. Total variation minimization and binary energies : algorithms and applications to segmentation and interface evolution problems. Univ. Sapporo, Japon, 16-18 novembre (2006).
- [239] **A. Chambolle**. Variational methods in Materials Science (Centro De Giorgi). Rigid displacements with cracks. Pise, 10-14 oct (2006)

- [240] **A. Chambolle.** PDE Approaches to Image Processing. Total variation minimization and snakes. Cologne, 7-10 octobre (2006)
- [241] **A. Chambolle.** New Trends in Viscosity Solutions and Nonlinear PDE. Approximations of the anisotropic and crystalline mean curvature flow. Instituto Superior Tecnico, Lisboa, July 24-28, 2006 :
- [242] **A. Chambolle.** Mathematical Methods for Multi-Channel Image Processing. LIAMA, Institute of Automation. Mini-cours sur la restauration d'images par méthodes variationnelles et exposé sur Algorithms For Total Variation Minimization (en collaboration avec J. Darbon). Beijing, 3-8 juil. 2006.
- [243] **A. Chambolle.** Geometric aspects of PDE and Applications (journées de Metz 2006), Algorithms for anisotropic and crystalline curvature flows. Université de Metz, 13-15 avril 2006
- [244] **A. Chambolle.** Journées mathématiques de l'image. Université de Nice, France, (journées nationales). Segmentation binaire et minimisation de la variation totale. 12-13 janvier 2006
- [245] **A. Chambolle.** Autumn school and workshop on moving boundaries. Convergence of algorithms for the anisotropic or crystalline curvature flow décembre 2005
- [246] **A. Chambolle.** Rencontre internationale «Optimisation de Formes et applications. Organisée par le GDR Anofor à Nancy, Institut Elie Cartan. Restauration d'images et minimisation du périmètre.» 20-22 octobre 2005
- [247] **A. Chambolle.** Level set methods for direct and inverse problems. Univ. Linz. Total variation minimization and binary segmentation. 14-16 septembre 2005 :
- [248] **A. Chambolle.** Régularité et singularités en optimisation de forme et frontières libres. The problem of crack initiation in Griffith's theory. Rennes, 21-23/10/2004x
- [249] **A. Chambolle.** Interface evolutions and applications. Centro De Giorgi, Pise. Implicit discretization of the mean curvature flow by total variation minimization. 27-29 septembre 2004
- [250] **A. Chambolle.** Interphase 2004, Numerical Methods for Free Boundary Problems. ,The total variation approach to the flat curvature flow. Rome, Univ. Roma-I, 13-16 septembre 2004
- [251] **A. Chambolle.** VPMS'04 Variational Problems in Materials Science. On the initiation of cracks in Griffith's model. SISSA, Trieste, 6-10 septembre 2004
- [252] **A. Chambolle.** Analysis of rate independent processes. On crack initiation in brittle materials. Univ. Paris-Nord, 30 août-1 septembre 2004
- [253] **A. Chambolle.** Calculus of Variations. Approximation of Functions with Bounded Deformation. Math. Forschungsinstitut Oberwolfach, 13-19/6/2004.
- [254] **R. Douc.** Invitation à la conférence internationale : "Asymptotic properties of Stochastic Systems", Nice, mai 2007.
- [255] **N. El Karoui.** Congrès International de Mathématiques Appliquées, ICIAM2007, Zurich Juillet 2007
- [256] **N. El Karoui.** Colloque in honor of Prof.Foellmer, Berlin Juin 2007

- [257] **N. El Karoui.** International Congress on Stochastic Processes and Applications, Paris Juillet 2006
- [258] **N. El Karoui.** Workshop on Crédit Derivatives and Risk Management, Evry France Juillet 2006
- [259] **N. El Karoui.** Journées de la Société de mathématiques Canadienne, Calgary Juin 2006
- [260] **N. El Karoui.** Workshop on \hat{C} Optimal Stopping Problems \hat{E} Manchester Janvier 2006
- [261] **N. El Karoui.** Workshop on Statistics and Mathematical Finance, Australie Juillet 2005
- [262] **N. El Karoui.** Workshop on BSDEs, Shanghai Mai 2005
- [263] **N. El Karoui.** Workshop on Risk Measure, Institut Isaac Newton, Cambridge Mars 2005
- [264] **N. El Karoui.** Metabief. Colloque in honor of Professor Shyriaev Janvier 2005
- [265] **N. El Karoui.** International Conférence on Mathematical Finance (Lisbonne) Septembre 2004
- [266] **N. El Karoui.** International Conférence in Mathematical Finance (X.Y.Zhou organisator), Weihai and Montagnes Jaunes, Mai 2004
- [267] **N. El Karoui.** Workshop on Risk Management and Modelisation, IMA, Minnéapolis April 2004
- [268] **N. El Karoui.** Kyoto Conférence on Stochastic processes and Financial Applications Février 2004
- [269] **N. El Karoui.** Osaka Séminaire au Département de Mathématiques Appliquées Février 2004
- [270] **N. El Karoui.** Ecoles d'été Marrakech Avril 2007
- [271] **N. El Karoui.** Ecoles d'été : CIMPA School in Mathematical Finance 2005
- [272] **N. El Karoui.** Ecoles d'été Tunis CIMPA-Unesco School in Mathematical Finance Novembre 2005
- [273] **N. El Karoui.** Ecoles d'été Téheran CIMPA School in Mathematical Finance Juin 2005
- [274] **N. El Karoui.** Ecoles d'été Summer School in Pisa (Italie). Lectures on "Optimal Stopping times and Running Supremum Septembre 2004
- [275] **V. Giovangigli.** Multicomponent Transport and Sprays, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer CHT-04, Norvege, Avril 2004.
- [276] **V. Giovangigli.** Multicomponent Transport, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Wascom05, Sicile, Juin 2005.
- [277] **V. Giovangigli.** Gaseous Flows with Complex Chemistry and Multicomponent Transport, Conference on Reactive Flow and Transport Phenomena Through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Novembre 2005.
- [278] **V. Giovangigli.** Modélisation et Simulation Numérique des Mélanges Gazeux Réactifs, 7^e Journée 'Calcul Scientifique et Modélisation', Université de Picardie Jules Verne, LAMFA, Mai 2007.

- [279] **K. Hamdache.** Couches minces en ferromagnétisme. Séminaire université de Besançon, février 2005
- [280] **K. Hamdache.** Solutions globales pour un modèle de fluides magnéto-élastiques. Université de Orsay, février 2006
- [281] **K. Hamdache.** Homogénéisation non locale d'équations de transport. Colloque Maghrébin TamTam07Alger, avril 2007
- [282] **S. Mallat, E. Le Pennec, G. Peyré,** The return of wavelets for image geometry, International Conference in Applied Computational Harmonic Analysis, Vanderbilt, May 2004 (invited)
- [283] **S. Mallat, G. Peyré,** Hierarchical geometrical image representation with plain wavelets, International Workshop on Multiscale Geometric Processing, Los Angeles, September 2004 (invited)
- [284] **S. Mallat, G. Peyré,** "Geometric representations of signals and images," International Conf. on Foundations of Computational Mathematics, Santander, Espagne, June 2005 (invited)
- [285] **S. Mallat, G. Peyré,** "Geometric representations of signals and images," International Conf. on Foundations of Computational Mathematics, Santander, Espagne, June 2005 (invited).
- [286] **S. Méléard.** German Open Conference in Probability and Statistics, Francfort (Allemagne), Conférencière invitée, mars 2006
- [287] **S. Méléard.** Workshop on Mathematical Population Genetics, Edinburgh (GB), Conférencière invitée, mars 2006
- [288] **S. Méléard.** Conference Numerical and Stochastic Models (Paris), Conférencière invitée, octobre 2006
- [289] **S. Méléard.** Journées de l' Ecole Doctorale Franco-Allemande Paris 10-Potsdam, novembre 2006
- [290] **S. Méléard.** Workshop Stochastic approaches to Evolution, Göteborg (Suède), Conférencière invitée, mai 2007
- [291] **S. Méléard.** 32th Conference on Stochastic Processes and Applications, Urbana-Champaign (USA), Conférencière invitée, août 2007
- [292] **S. Roelly.** Stochastic Analysis and Mathematical Finance, Paris, juin 2004.
- [293] **S. Roelly.** Mathematical Problems in Dynamics and Statistical Physics, Camerino (Italie), septembre 2004.
- [294] **S. Roelly.** 32nd Conference on Stochastic Processes and their Applications, Urbana-Champaign (USA), août 2007 (présentée par ma coauteur M. Thieullen).
- [295] **S. Roelly.** Dirichlet Forms, Stochastic Analysis and Interacting Systems, Berlin (Allemagne), septembre 2007
- [296] **N. Touzi.** Evolution Equations for Deterministic and Stochastic Systems, Vienne, Autriche, 5-8 juin 2006
- [297] **N. Touzi.** AMAMEF Conference, Londres, Angleterre, 10-12 novembre 2006
- [298] **N. Touzi.** Journée EDSR, EDSPR et méthodes numériques probabilistes, Marseille, 19 décembre 2006

- [299] **N. Touzi**. Slovak-Austrian Mathematical Congress (17-21 septembre 2007, Podbanske, Slovaquie). PDE and Finance 2007, Stockholm, 20-23 août 2007
- [300] **N. Touzi**. Conference for the 65th birthday of Wolfgang Runggaldier. Bressanone, Italie, 16-20 juillet 2007
- [301] **N. Touzi**. Conférence de la SMAI sur l'Optimisation et la Décision, Paris, 18-20 avril 2007
- [302] **N. Touzi**. Mathematical Control Theory and Finance, Lisbonne, Portugal, 10-14 avril 2007

Communications avec actes

- [303] **H. Ammari**, H. Kang et M. Lim, Polarization tensors and their applications, Proceedings of the second International Conference on Inverse Problems : recent developments and numerical approaches, Shanghai, 2004, *Journal of Physics : Conference Series* **12** (2005), 13–22.
- [304] **H. Ammari** et H. Kang, Generalized polarization tensors, inverse conductivity problems, and dilute composite materials : A review, *Contemporary Mathematics*, Volume **408**, 1–67, 2006.
- [305] **H. Ammari**, H. Kang, **H. Zribi**. Electrostatics in high contrast materials, *Journal of Computational Mathematics* **25** (2007), 244–251.
- [306] **E. Bacry**, **A. Kozhemyak**, **J.F. Muzy** *Are asset return fat tails related to volatility long-range correlation ?*, Proc. Econophysics Colloquium (Canberra, Australie, Novembre 2005)
Publié dans *Physica A* (2006).
- [307] **E. Bacry**, S. Mallat, **G. Yu**, *Audio signal denoising with complex wavelets and adaptive block attenuation* Accepté pour une présentation orale à ICASSP07 (Hawaii, 2007).
- [308] **F. Bonnans**, N. Bérend, M. Haddou, J. Laurent-Varin, C. Talbot *On the refinement of discretization for optimal control problems*. Proc. 16th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, 14-18 June 2004, St. Petersburg, Russia.
- [309] **F. Bonnans**, J. Laurent-Varin, N. Bérend, C. Talbot *An efficient optimization method dealing with global RLV (ascent and branching) trajectories*. Proc. 56th IAF (International Astronautical Congress), Fukuoka, 17-21 Oct 2005.
- [310] **F. Bonnans**, N. Bérend, M. Haddou, J. Laurent-Varin, C. Talbot *Fast Linear Algebra for Multiarc Trajectory Optimization*. In “Large Scale Nonlinear Optimization”, Proc. Erice Workshop, Non convex optimization and its applications series, G. Di Pillo and M. Roma eds, Springer Verlag, 2006, pp. 1–14.
- [311] **F. Bonnans**, J. André, L. Cornibert. *Planning reinforcement on gas transportation networks with optimization methods*. Proc. Operation Research Models and Methods in the Energy Sector Conference (ORMMES 2006), Sept. 6-8, Coimbra, Portugal.
- [312] **F. Bonnans**, S. Adam, R. Paraisy, S. Veyrat. *Application of convex lexicographical optimization to the balance of GRTgaz gas grid*. Proc. Operation Research Models

- and Methods in the Energy Sector Conference (ORMMES 2006), Sept. 6-8, Coimbra, Portugal.
- [313] **F. Bonnans**, J. Laurent-Varin, P. Martinon, E. Trélat (Avril 2007) *Generalized Goddard approach for trajectory optimization*. Proc. (CD) Second European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS), Brussels, July 1-6, 2007.
- [314] **A. Chambolle**, J. Bect, L. Blanc-Féraud, G. Aubert. A l^1 -unified framework for image restoration. In T. Pajdla and J. Matas, editors, *Proceedings ECCV 2004 (Prague)*, number 3024 in Lecture Notes in Computer Science, pages 1–13. Springer, 2004.
- [315] **A. Chambolle**, B. Bourdin. Une méthode de champ de phase pour l'optimisation topologique. In R. Ohayon, J.-P. Grellier, and A. Rassineux, editors, *Septième colloque national en Calcul des structures (Giens 2005)*, volume 2, pages 223–228. Hermes Science, May 2005.
- [316] **A. Chambolle**, Blaise Bourdin. The phase-field method in optimal design. In *IUTAM toptSYMP2005 : Topological design, optimization of structures, machines and materials - status and perspective (Copenhagen, Oct. 2005)*, 2006.
- [317] **A. Chambolle**. Total variation minimization and a class of binary mrf models. In Anand Rangarajan, Baba C. Vemuri, and Alan L. Yuille, editors, *Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition, 5th International Workshop, EMMCVPR 2005, St. Augustine, FL, USA, November 9-11, 2005, Proceedings*, volume 3757 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 136–152. Springer, 2005.
- [318] **A. Chambolle**, Jérôme Darbon. Algorithms for total variation minimization. In *Mathematical Model for Multi-Channel Image Processing (MultIm'2006), Beijing, 2006.7.7-8*.
- [319] **A. Chambolle**, F. Ranchin and F. Dibos. Total variation minimization and graph cuts for moving objects segmentation. In *Proceedings of SSVM*, pages 743–753, 2007. to appear in LNCS, Springer.
- [320] **R. Douc**, O. Cappé, E. Moulines, “Comparison of Resampling Schemes for Particle Filtering”. In 4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), Zagreb, Croatia, sep 2005.
- [321] **V. Giovangigli**. Multicomponent Transport and Sprays, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer, CHT-04, G. de Vahl Davis and E. Leonardi (eds), Begell House Inc., New York, (2004).
- [322] **V. Giovangigli**. Gaseous Flows with Multicomponent Transport and Complex Chemistry, Reactive Flow and Transport through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach Report 49/2005, pp. 27–29.
- [323] **V. Giovangigli**. Multicomponent Reactive Flows, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Proceedings of Wascom 2005, R. Monaco (ed), World Scientific Pub., Singapore, (2006), pp. 262–273.
- [324] **S. Mallat**, G. Peyre "Discrete bandelets with geometric orthogonal filters", Proc. ICIP, Sept 2005.
- [325] **S. Mallat**, G. Yu, E. Bacry, "Audio Denoising by Time-Frequency Block Thresholding", Proc. ICASSP, Mai 2007.

- [326] **S. Mallat**, **C. Dossal**, E. LePennec, G. Peyre, "Debruitage d'images en bandelettes", GRETSI Sept. 2007.
- [327] **S. Méléard**, N. Champagnat and R. Ferrière. Individual-based probabilistic models of adaptive evolution and various scaling approximations. To appear in the Proceedings of the 5th seminar on Stochastic Analysis, Random Fields and Applications, Ascona, Switzerland (Probability in Progress Series, Birkhauser), 2007.
- [328] **S. Roelly**. *Infinite system of Brownian balls with interaction : the non-reversible case*, avec M. Fradon, Proceedings Stochastic Analysis and Mathematical Finance, Paris (2004) Eds. R. Cont, B. Lapeyre, J.-P. Fouque, ESAIM P&S 11 (2007) 55–79

Communications sans actes

- [329] **J. Bion-Nadal**. A free Girsanov property for free Brownian motion. Colloque "Great Plain Operator Theory Symposium" 26-30 mai 2004.
- [330] **J. Bion-Nadal**. Conditional risk measure and robust representation of convex conditional risk measures. Colloque "AFFI international conference Cergy Pontoise" 24-26 juin 2004.
- [331] **J. Bion-Nadal**. Dynamic Pricing in Incomplete Markets. Colloque Fourth World Congress of the Bachelier Finance Society, Tokyo Japan, 17-20 août 2006.
- [332] **A. Chambolle**. ICIAM 07 - 6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Zurich, Suisse, 16-20 juillet 2007.
- [333] **A. Chambolle**. Co-organisation d'une session (double) avec Martin Burger (Univ. Munster, Allemagne) : Nonlinear PDE techniques in imaging (17 juillet)
- [334] **A. Chambolle**. Exposé dans la session Mathematical aspects of materials science : plasticity and fracture (A. DeSimone, S. Muller) : "Rigidity results for cracked bodies" (18 juil.)
- [335] **A. Chambolle**. Exposé dans la session Max-flow/min-cut for continuous flows and related problems (B. Kawohl, G. Strang) : "Discrete and continuous parametric max-flow" (19 juil.)
- [336] **A. Chambolle**. Exposé dans la session Recent advances in front propagation modelling and applications (M. Falcone, R. Monneau) : "Evolutions by crystalline mean curvature" (20 juil.)
- [337] **A. Chambolle**. EQUADIFF' 11, Bratislava, 25-29/7/2005 : Organisation d'un mini-symposium sur "Evolution of crystalline interfaces" (intervenants : Y. Giga, P. Rybka, M. Novaga et A. Chambolle : "Algorithms for crystalline evolutions").
- [338] **A. Chambolle**. Optimisation de Formes et Images, Univ. Paris-Dauphine, 28/6/2005 (journée nationale du GDR ANOFOR) : Minimisation de la variation totale et champs de Markov binaires.
- [339] **A. Chambolle**. 7ème colloque national sur le calcul des structures, Giens, 17-20/5/2005 : La méthode du champ de phase en optimisation de formes".

- [340] **V. Giovangigli**, B. Graille. Les Mélanges Gazeux réactifs Partiellement Ionisés, 35^e Congrès National d'Analyse Numérique, La Grande Motte, Juin 2003,
- [341] **V. Giovangigli**. Multicomponent Transport and Sprays, International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer CHT-04, Norvege, Avril 2004.
- [342] **V. Giovangigli**, Nicolas Meynet, Mitchell Smooke Application of Continuation Techniques to AP Flames, Tenth International Conference on Numerical Combustion, Sedona, Arizona, 2004,
- [343] **V. Giovangigli**, B. Graille. Stabilité Asymptotique des Plasmas Ambipolaires, 36^e Congrès National d'Analyse Numérique, Obernai, Mai 2004,
- [344] **V. Giovangigli**, M. Massot. Symmetrization of Multicomponent Reactive Flows in the Small Mach Number Limit, Mathematical and Numerical Aspects of Low Mach Number Flows, Porquerolles, Juin 2004,
- [345] **V. Giovangigli**. Multicomponent Transport, XIII International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Wascom05, Acireale, Sicile, Juin 2005.
- [346] **V. Giovangigli** . Gaseous Flows with Complex Chemistry and Multicomponent Transport, Conference on Reactive Flow and Transport Phenomena Through Complex Systems, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, Oberwolfach, Novembre 2005.
- [347] **V. Giovangigli**, Germain Billet Impact of Volume Viscosity on a Shock/Diffusion Flame Interaction, Eleventh International Conference on Numerical Combustion, Granada, Avril 2006,
- [348] **V. Giovangigli**, Fabignon et al. Entropies d'Ordre Supérieur, 38^e Congrès National d'Analyse Numérique, Guidel, Juin 2006. *
- [349] **V. Giovangigli**, Germain Billet. Some Aspect of Combustion Modeling for Solid Energetic Materials, 1st European Conference for Aerospace Science, Moscou, Juillet 2006,
- [350] **V. Giovangigli**. Simulation Numérique de l'Interaction Choc/Bulle d'Hydrogène, SMAI 2007, Congrès de Mathématiques Appliquées et Industrielles, Praz sur Arly, Juin 2007,
- [351] **S. Roelly**. Karlsruher Stochastik-Tage, Karlsruhe (Allemagne), mars 2004.
- [352] **S. Roelly**. Applications of Stochastic Processes, Potsdam (Allemagne), septembre 2006.
- [353] **S. Roelly**. Colloque inaugural du Groupe International de Recherche Berlin/Zurich SMCP, Berlin (Allemagne), novembre 2006.
- [354] **S. Roelly**. Applications of Stochastic Processes II, Potsdam (Allemagne), juillet 2007.

Ouvrages scientifiques (ou chapitres)

- [355] **G. Allaire**. *Analyse numérique et optimisation*, Editions de l'Ecole Polytechnique, Palaiseau (2005).

- [356] **G. Allaire.** *Conception optimale de structures*, Collection : Mathématiques et Applications, Vol. 58, Springer (2007).
- [357] **G. Allaire.** *Numerical Analysis and Optimization. An Introduction to Mathematical Modelling and Numerical Simulation*, translated from (1) by Alan Craig, Oxford University Press, (2007).
- [358] **H. Ammari**, H. Kang, Reconstruction of Small Inhomogeneities from Boundary Measurements, *Lecture Notes in Mathematics*, Volume **1846**, Springer-Verlag, Berlin 2004, 238 pages.
- [359] **H. Ammari**, H. Kang, Proceedings of the Workshop on Inverse Problems, Multi-Scale Analysis and Homogenization, *Contemporary Mathematics*, Volume 408 (2006), American Mathematical Society.
- [360] **H. Ammari**, H. Kang, Polarization and Moment Tensors with Applications to Inverse Problems and Effective Medium Theory, *Applied Mathematical Sciences*, Volume 162, Springer-Verlag, New York 2007, 325 pages.
- [361] **H. Ammari.** An Introduction to Mathematics of Emerging Biomedical Imaging, soumis à Springer-Verlag, 2007.
- [362] **J.F. Bonnans**, P. Rouchon : *Commande et optimisation de systèmes dynamiques*. Editions de l'Ecole Polytechnique, 288 pages, 2005.
- [363] **J.F. Bonnans**, J.Ch. Gilbert, C. Lemaréchal, C. Sagastizábal : *Numerical Optimization : theoretical and numerical aspects*. Universitext Series, Springer-Verlag, Berlin, 485 pages, seconde édition, 2006.
- [364] **R. Douc**, E. Moulines, P. Soulier : Subgeometric ergodicity of Markov chains dans le livre Dependence in Probability and Statistics Series : Lecture Notes in Statistics , Springer Vol. 187. Bertail, Patrice ; Doukhan, Paul ; Soulier, Philippe (Eds.) Juillet 2006
- [365] **R. Douc**, E. Moulines. Analysis of Sequential Monte Carlo Methods dans le livre Inference in hidden Markov models, Series : Springer Series in Statistics, Springer, 2005. O. Cappé, E. Moulines, T. Ryden (Eds.)

Ouvrages de vulgarisation (ou chapitres)

- [366] **S. Roelly.** *Die Wiederentdeckung eines Mathematikers : Wolfgang Döblin*, avec Peter Imkeller, DMV Mitteilungen 2007 (Journal d'information de la Société Mathématique Allemande)

Directions d'ouvrages

- [367] **H. Ammari** et H. Kang (editeurs), Proceedings of the Workshop on Inverse Problems, Multi-Scale Analysis and Homogenization, *Contemporary Mathematics*, Volume 408 (2006), American Mathematical Society.

- [368] **H. Ammari** (editeur), Modeling and Computations in Electromagnetics : A Volume Dedicated to Jean-Claude Nédélec, *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*, Volume 59, Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [369] **S. Roelly**. Coordinatrice du No 2 de la Revue française d'éducation comparée *Raisons, comparaisons, éducations* (Rédacteur en chef : D. Groux), dont le dossier principal est sur les Mathématiques, à paraître en novembre 2007

Autres publications

- [370] **H. Ammari**, A. Dossevi, L. Garnero. Automatic reconstruction of functional networks from a principal component analysis of the signals in MEG/EEG, soumis dans *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
- [371] **H. Ammari**, H. Kang, E. Kim, M. Lim, K. Louati. Acoustical detection of internal corrosion, soumis dans *SIAM Journal on Numerical Analysis*.
- [372] **H. Ammari**, E. Bonnetier, Y. Capdeboscq, M. Tanter, M. Fink. Electrical impedance tomography by elastic deformation, soumis dans *SIAM Journal on Applied Mathematics*.
- [373] **H. Ammari**, H. Kang et H. Lee. Asymptotic analysis of high-contrast phononic crystals, soumis dans *Archive for Rational Mechanics and Analysis*.
- [374] **H. Ammari**, H. Kang, E. Kim, H. Lee, K. Louati. Vibration testing for detecting internal corrosion, soumis dans *SIAM Journal on Mathematical Analysis*.
- [375] **H. Ammari**, H. Kang, M. Lim, H. Zribi. Layer potential techniques in spectral analysis. Part I : complete asymptotic expansions for eigenvalues of the Laplacian in domains with small inclusions, soumis dans *Transactions of the American Mathematical Society*
- [376] **H. Ammari**, H. Kang, M. Lim et H. Zribi, Conductivity interface problems. Part I : small perturbations of an interface, soumis dans *Proceedings of the American Mathematical Society*.
- [377] **H. Ammmari**, H. Kang, E. Kim, K. Louati et M. Vogelius. A MUSIC-type algorithm for detecting internal corrosion from electrostatic boundary measurements, soumis dans *Numerische Mathematik*.
- [378] **H. Ammari**, P. Calmon et E. Iakovleva. Direct elastic imaging of a small inclusion, soumis dans *SIAM Journal on Imaging Sciences*.
- [379] **J.F. Bonnans**, A. Hermant (Mai 2007) *Second-order Analysis for Optimal Control Problems with Pure and Mixed State Constraints*. soumis Annales de l'I.H.P. - Non-linear Analysis"
- [380] **J.F. Bonnans**, F. Alvarez, J. Laurent-Varin (Avril 2007) *Asymptotic expansion of the optimal control under logarithmic penalty : worked example and open problems*. Rapport de Recherche INRIA RR-6170.
- [381] **J.F. Bonnans**, P. Martinon, E. Trélat (Avril 2007) *Singular arcs in the generalized Goddard's Problem*. Soumis J. Optimization Theory and Applications

- [382] **J. Bion-Nadal.** Dynamic Risk Measures : Time Consistency and Risk Measures from BMO martingales, preprint Cmap 596.
- [383] **J. Bion-Nadal.** Dynamic Pricing in Financial Markets with Transaction Costs and Liquidity Risk, preprint arxiv math PR0703074
- [384] **J. Bion-Nadal.** Time Consistent Dynamic Risk Processes”, preprint arxiv math PR0607212
- [385] **J. Bion-Nadal.** *Brownian hard balls submitted to an infinite range interaction with slow decay*, avec M. Fradon , Prépublication de l’Institut de Mathématiques de l’Université de Potsdam (Équipe de Probabilités et Statistiques) 2006/01 soumise pour publication
- [386] **J. Bion-Nadal.** *Limit theorems for conditioned multitype Dawson-Watanabe processes*, avec N. Champagnat, Prépublication de l’Institut de Mathématiques de l’Université de Potsdam (Équipe de Probabilités et Statistiques) 2007/01 soumise pour publication
- [387] **J. Bion-Nadal.** *A constructive approach to a class of ergodic HJB equations with nonsmooth cost*, avec P. Cattiaux et P. Dai Pra, Prépublication de l’Institut de Mathématiques de l’Université de Potsdam (Équipe de Probabilités et Statistiques) 2007/02 soumise pour publication
- [388] **O. Pantz, K. Trabelsi.** A post treatment of the homogenization method for shape optimization, SIAM J. Control Optim., SIAM Journal on Control and Optimization, Submitted,
- [389] **O. Pantz,** Contacts in dimension 2, a penalization method, Int. J. Non-Linear Mech., International Journal of Non-Linear Mechanics, Submitted,

Autres activités internationales

- [390] **G. Allaire.** Coordonnateur d’une équipe française du réseau européen MULTIMAT (2004-2008).
- [391] **G. Allaire.** Responsable de projets ECOS de coopération avec le Chili.
- [392] **H. Ammari.** Membre du comité éditorial de la revue Journal of Computational Mathematics
- [393] **H. Ammari.** Membre du comité éditorial de la revue Mathematical Methods in the Applied Sciences
- [394] **H. Ammari.** Co-organisateur de la conférence internationale "Multi-Scale Problems, Effective Medium Theory, and Inverse Problems", Séoul, juin 2005.
- [395] **H. Ammari.** Membre du Steering Committee de l’association internationale des problèmes inverses
- [396] **F. Bonnans.** Membre du “Council at Large” (bureau) de la “Mathematical Programming Society” (2006-2009).
- [397] **F. Bonnans.** Editeur en chef adjoint, *ESAIM : COCV* (Control, Optimisation and Calculus of Variations).

- [398] **F. Bonnans.** Editeur associé, *Applied Mathematics and Optimization*
- [399] **F. Bonnans.** Member of the Optimal Control Technical Committee 2.4 of IFAC (International Federation of Automatic Control), 2005-2008.
- [400] **F. Bonnans.** Cochair of Scientific Committee, 13th IFAC Workshop on Control Applications of Optimisation CAO'06, April 26-28, 2006, ENS Cachan, France.
- [401] **R. Douc.** Co-organisateur de la conférence New directions in Monte Carlo methods, Fleurance, 25-29 juin 2007. Manifestation soutenue par le CMAP, le CNRS, la DGA, le GET (Groupe des Ecoles des Télécommunications), l'INRIA et la Région Midi-Pyrénées.
- [402] **V. Giovangigli.** Membre du Comité Éditorial de la revue Combustion Theory and Modelling depuis Mars 1997.
- [403] **V. Giovangigli.** Membre du 'Steering Committee' du Congrès SIAM sur la Combustion Numérique depuis 1996.
- [404] **K. Hamdache.** Membre du comité d'organisation du colloque TamTam07Alger (avril 2007)
- [405] **S. Roelly.** Responsable scientifique du côté allemand d'un accord de coopération bilatérale entre les facultés de Mathématique des Universités de Potsdam et de Lille 1, au sein du Programme franco-allemand Procope pour 2004-2006 : PAI Numéro 07619YD intitulé *Diffusion de systèmes infinis de sphères dures* (responsable français : Myriam Fradon). Cet accord a permis de faire avancer les travaux scientifiques en cours entre P.-Y. Louis et S. Roelly pour le côté allemand et M. Fradon et D. Dereudre pour le côté français.
- [406] **S. Roelly.** Responsable scientifique de trois accords Erasmus entre l'Institut de Mathématiques de l'Université de Potsdam et ceux de Nancy, de Versailles et de Paris V.
- [407] **S. Roelly.** Responsable scientifique du Collège doctoral franco-allemand CDFA 01-06 intitulé *Applications of stochastic processes*, financé par l'Université franco-allemande pour les années 2006-2008 (autre responsable : Christian Léonard).
- [408] **S. Roelly.** Membre de École Doctorale internationale Berlin-Potsdam/Zurich intitulée *Stochastic Models of Complex Processes* inaugurée en novembre 2007.
- [409] **N. Touzi.** Workshop Probabilistic Numerical Methods in Finance, Isaac Newton Institute, Cambridge, du 16 au 20 mai 2005
- [410] **N. Touzi.** Workshop Optimization Problems in Financial Economics Banff International Research Station, Canada, du 20 au 25 mai 2006

Information et culture scientifique et technique

- [411] **G. Allaire.** Président du département de mathématiques appliquées à l'Ecole Polytechnique depuis 2006.
- [412] **G. Allaire.** Membres des commissions de recrutement en mathématiques, mathématiques appliquées, mécanique à l'Ecole Polytechnique depuis 2000.

- [413] **G. Allaire.** Membre du Conseil National des Universités (26ème section, mathématiques appliquées) de 1998 à 2007.
- [414] **G. Allaire.** Membre de la commission de recours pour l'attribution de la Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche de 2001 à 2003.
- [415] **G. Allaire.** Président du GAMNI/SMAI (Groupement pour l'Avancement des Méthodes Numériques pour l'Ingénieur) depuis 2005.
- [416] **G. Allaire.** Membre du conseil d'administration de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) de 1993 à 1999, puis depuis 2005.
- [417] **G. Allaire.** Président du Conseil Scientifique du GDR MOMAS (MODélisations MAthématiques et Simulations numériques liées aux problèmes de gestion des déchets nucléaires).
- [418] **G. Allaire.** Membre des Comités d'Evaluation des Laboratoires de Mathématiques de Toulouse (2006), de l'ENSTA (2006), de l'ENIT à Tunis (2006). Membre du Conseil Scientifique de l'Institut Camille Jordan à Lyon.
- [419] **G. Allaire.** Co-organisateur (depuis 1991) du séminaire annuel CEA/GAMNI sur les Ecoulements de Fluides Compressibles.
- [420] **G. Allaire.** Membre des Comités Scientifiques de plusieurs congrès (CSMA à Giens, IUTAM workshop à Copenhague, colloques de GDR, etc.).
- [421] **G. Allaire.** Membre du Comité d'Organisation du 2ème workshop du réseau européen MULTIMAT (Paris, mars 2005),
- [422] **G. Allaire.** Membre du Comité d'Organisation de l'international workshop on analysis and control of p.d.e.s, pour le 60ème anniversaire de Jean-Pierre Puel (Pont-à-Mousson, juin 2007),
- [423] **G. Allaire.** Membre du Comité d'Organisation de la journées de mathématiques appliquées à l'occasion du 60ème anniversaire de François Murat (Paris, octobre 2007).
- [424] **G. Allaire.** Co-éditeur en chef de la collection "Mathématiques et Applications" de la SMAI éditée par Springer.
- [425] **G. Allaire.** Membre du comité éditorial du journal ESAIM/COCV depuis 2000,
- [426] **G. Allaire.** Membre du comité éditorial du journal SIAM Multiscale Modeling and Simulation depuis 2002, Structural and Multidisciplinary Optimization depuis 2002,
- [427] **G. Allaire.** Membre du comité éditorial du journal Annales de la de la Faculté des Sciences de Toulouse depuis 2003,
- [428] **G. Allaire.** Membre du comité éditorial du journal Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B depuis 2003, Computational and Applied Mathematics depuis 2006,
- [429] **G. Allaire.** Membre du comité éditorial du journal Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (M3AS) depuis 2006.
- [430] **G. Allaire.** Contrats industriels avec le CEA, EADS, Dassault Aviation. Projets dans le GdR MOMAS (financé par l'ANDRA, le BRGM, le CEA, EDF, l'IRSN et le CNRS).
- [431] **G. Allaire.** Site web sur l'optimisation de formes : <http://www.cmap.polytechnique.fr/optopo>. Boîte à outils optimisation de formes pour le logiciel libre FreeFem++.

- [432] **H. Ammari.** Projet MATH-STIC sur l'*Imagerie en Milieux Complexes et Incertains*, 2004-2005.
- [433] **H. Ammari.** ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques sur des *Nouveaux Algorithmes d'Imagerie*, 2004-2007.
- [434] **H. Ammari.** Contrat avec le CEA-LIST sur le *Contrôle non-destructif en élasticité : Formulations asymptotiques et algorithmes de reconstruction non-itératifs* (60KE), 2006-2007.
- [435] **H. Ammari.** Projet ANR Blanc *Imagerie Médicale Haute Précision par reconstruction de la carte de conductivité sous perturbation élastique* (200KE), 2007-2009.
- [436] **H. Ammari.** Projet Opération Maturation Technologique (Digiteo Labs), *Intégration à la plate-forme CIVA de développements théoriques en modélisation et inversion des ondes*, avec P. Calmon (CEA-LIST) et Dominique Lesselier (SupElec), 2006-2007.
- [437] **H. Ammari.** Projet ANR sur *Simulation et Statistiques pour les Essais Non-Destructifs*, en tant que partenaire académique, avec principalement le CEA-LIST et EADS (60KE), 2006-2009.
- [438] **H. Ammari.** Convention Cifre (Thalès Opto-électronique) sur l' *Imagerie de structures cancéreuses par méthodes laser polarimétriques*.
- [439] **H. Ammari.** Contrat avec le CEA-LIST sur des *Algorithmes de reconstruction de défauts étendus* (60KE), 2007-2008.
- [440] **E. Bacry.** Deux émissions radiophoniques (30mn chacune). Sciences Frictions, *Géométrie fractale et Finance*. Invités : E.Bacry et B.Mandelbrot. France Culture Juin 2005.
- [441] **E. Bacry.** Maintenance et mise à disposition sur mon site web d'un logiciel libre de calcul scientifique LastWave
- [442] **E. Bacry.** 2003-2006 : Responsable de l'ACI Nouvelles interfaces en Mathématiques : Modèles multifractals en Finance en collaboration avec J.F. Muzy du laboratoire de Mathématiques Appliquées de Corté
- [443] **F. Bonnans.** Membre du bureau du groupe SMAI-MODE
- [444] **F. Bonnans.** cofondateur du *Séminaire Parisien d'Optimisation* en 2004.
- [445] **F. Bonnans.** Membre du comité d'organisation, journées CODE 07 (Conférence de la SMAI sur l'Optimisation et la Décision), Institut Henri Poincaré, 18-20 avril 2007.
- [446] **F. Bonnans.** Organisateur du cours "Commande optimale, algorithmes et applications". Rocquencourt, 30 mai-1er juin 2007.
- [447] **A. Chambolle** Responsable (depuis un peu moins d'un an) du projet "MICA" (Mouvements d'Interfaces, Calcul et Applications) de l'ANR (Programme Blanc), qui réunit l'université de Bretagne Occidentale (P. Cardaliaguet), l'université de Tours (G. Barles), le CERMICS (ENPC, R. Monneau) et le CMAP. Nous avons organisé une conférence internationale à Roscoff en mai 2007, et prévoyons une mini école en novembre prochain sur les méthodes numériques pour la propagation de fronts.
- [448] **A. Chambolle** Membre du comité éditorial de la (nouvelle) revue "Inverse Problems and Imaging" (IPI), rédacteur en chef Lassi Päiväranta, univ. Helsinki)

- [449] **A. Chambolle** Membre du comité d'organisation de la conférence SIAM Conference on Imaging Science, Minneapolis, Mai 2006
- [450] **A. Chambolle** Membre du comité de sélection de la conférence Scale-Space 2005 (7-9 avril 2005, Hofgeismar, Allemagne), et au comité de sélection de la conférence "ORASIS" pour jeunes chercheurs en traitement d'images (les années impaires).
- [451] **R. Douc**. Co-organisateur des séminaires des Modèles stochastiques (CMAP) 2001-2006.
- [452] **N. El Karoui**. Conférence à la Bibliothèque Nationale de France, Mai 2007, dans le cadre des Conférences organisées par la SMF, ÊUn texte, Un mathématicien, sur Louis Bachelier, le processus stochastiques et la finance
- [453] **N. El Karoui**. Conférence en 2005 à l'Académie des Sciences sur les marchés financiers.
- [454] **N. El Karoui**. Rédaction d'article à destinations des Lycéens dans Tangente
- [455] **N. El Karoui**. Nombreuses interviews dans les journaux sur le rôle des mathématiques financières et la formation des ingénieurs, dont un article du Wall Street Journal, et une page portrait du Monde. En tout 24 articles depuis 2006
- [456] **V. Giovangigli**. Membre du Comité Éditorial de la revue Combustion Theory and Modelling depuis Mars 1997.
- [457] **V. Giovangigli**. Membre du 'Steering Committee' du Congrès SIAM sur la Combustion Numérique depuis 1996.
- [458] **V. Giovangigli**. Librairie eglib.f servant à évaluer les propriétés de transport dans les mélanges gazeux est disponible sur demande pour les utilisateurs universitaires. ([http://www.cmap.polytechnique.fr/www.eglib/.](http://www.cmap.polytechnique.fr/www.eglib/))
- [459] **K. Hamdache**. Membre du jury du Prix, Maurice Audin depuis 2005.
- [460] **K. Hamdache**. Membre du comité d'organisation du congrès en l'honneur de Luc Tartar. Paris, Juillet 2007
- [461] **K. Hamdache**. Membre du comité scientifique du colloque organisé à la mémoire de A. Ziani. Nantes, mai 2004.
- [462] **S. Roelly**. Organisation de 3 Colloques internationaux à l'Université de Potsdam : 4-6 mars 2004, *Problems in Statistical Mechanics*, 27-29 septembre 2006, *Applications of Stochastic Processes*, 4-6 juillet 2007 *Applications of stochastic processes II*
- [463] **S. Roelly**. Organisation d'une École de Printemps à l'Université de Potsdam : 5-9 mars 2007 *Stochastic Models of Complex Processes*
- [464] **S. Roelly**. Interventions en Lycée et à l'Université pour présenter les études universitaires (10.06.2005 et 21.02.2007)

Valorisation

- [465] **H. Ammari**. Contrat avec la DGA sur les *Cristaux Photoniques : Modélisation et Calcul* (40KE), 2004-2005.

- [466] **H. Ammari.** Contrat avec la DGA sur des *Formulations asymptotiques et algorithmes non-itératifs pour la reconstruction de petites inclusions électromagnétiques en milieu incertain - Application à la détection des mines anti-personnelles* (40KE), 2005-2006.
- [467] **H. Ammari.** Contrat avec Schlumberger sur la *Modélisation et Imagerie Multi-Fréquentielle des Propriétés Diélectriques des Roches* (118KE), 2007-2008.
- [468] **F. Bonnans.** Expertises : laboratoires de mathématiques appliquées de l'INSA Rouen et de l'Université du Havre (AERES, juin 2007), ANR (2007), Minerva Center for Optimization, Technion, Haifa, 2004 (équipe de A. Ben-Tal et A. Nemirovski), CNRS-LAAS, projet logiciel OLOCEP (Outils logiciels pour l'optimisation en commande et évaluation de performance), 2004-2006. Conseiller scientifique chez GDF.
- [469] **F. Bonnans.** Contrats d'encadrements de thèse : CNES et ONERA (J. Laurent-Varin, 2002-2005), DGA (A. Hermant, 2005-2008), EDF (R. Apparigliato, 2005-2007). Contrat CNES (2007-2008) sur l'approche HJB.
- [470] **R. Douc.** Responsable scientifique au sein du CMAP de l'ANR Adap'MC (ANR impliquant des équipes à Dauphine, les Ponts et Chaussées et l'ENST.). Co-organisateur des séminaires de cet ANR, 2005-2007.
- [471] **N. El Karoui.** Membre du Conseil de l'Agence pour l'évaluation de la recherche et de l'Enseignement Supérieur.
- [472] **N. El Karoui.** Membre du comité de Direction du pôle de compétitivité en Finance.
- [473] **N. El Karoui.** Chaire Risques financiers avec la Société Générale, mise en place dans le cadre de la Fondation du Risque (Budget Global : 300.00 euros sur 5 ans)
- [474] **N. El Karoui.** Chaire Dérivés du Futurs avec la Fédération Française des Banques, en co-responsabilité avec Nizar Touzi (Budget Global : 300.00 euros sur 5 ans)
- [475] **V. Giovangigli.** Conseiller Scientifique à l'ONERA en 2003–2007, un jour par semaine. Travail sur la simulation des combustibles solides dans le moteur d'Ariane et les modèles Eulériens de brouillards de goutelettes.
- [476] **S. Mallat.** Création de la société Let It Wave en Juin 2001.
- [477] **S. Mallat.** Détachement au sein de Let It Wave, du 09/2002 au 09/2007 comme Directeur scientifique et Directeur Général

Brevets

- [478] **H. Ammari.** Brevet déposé sur *Procédé et Dispositif de la Tomographie d'Impédance Électrique par Perturbation Élastique* (avec E. Bonnetier, Y. Capdeboscq, M. Tanter et M. Fink).
- [479] **S. Mallat.** Brevets déposés par Let It Wave en accord avec l'École Polytechnique :
 S. Mallat, E. Le Pennec "Method and apparatus for processing and compressing n-dimensional signals by foveal filtering along trajectories", US patent 09/834,587, 2001.
 C. Bernard, J. Kalifa, E. LePennec and S. Mallat, "Method and apparatus for processing or compressing n-dimensional signals with warped wavelet packets and bandelets", European patent, PCT/EP02/14903, 2002.

S. Mallat, "Method and apparatus for enhancing signals with multiscale grouping bandelets", Novembre 2005, PCT EP05/013536

J. Bruna and S. Mallat, "Method and apparatus for robust super-resolution video scaling", Avril 2006, PCT EP2006/004316

C. Bernard, J. Bruna, E. Laveau, S. Mallat, "Low delay video enhancement", Oct. 10th 2006, PCT EP2006/003895