

INSTITUT DE RECHERCHE MATHÉMATIQUE DE RENNES
U.M.R. C.N.R.S. 6625

RAPPORT D'ACTIVITÉ

Équipe Analyse Numérique
Période Juillet 2002 – Juin 2006

M. DAUGE, G. CALOZ, M. COSTABEL ET
F. MÉHATS

26 Octobre 2006

Avertissement

Ce document présente la contribution de l'équipe d'Analyse Numérique au rapport quadriennal de l'Irmar (Umr 6625). Il contient exactement les mêmes éléments que le chapitre 3 de ce rapport.

En particulier ne sont répertoriées que les publications et invitations correspondant à la période de présence dans le laboratoire.

Nous avons reproduit le plus fidèlement possible les informations transmises par chacun des membres permanents de l'équipe, 25 au total. En particulier, les textes décrivant les thèmes de recherche sont tous issus des auteurs eux-mêmes. Il reste possible que certaines publications de membres ayant à ce jour quitté le labo aient été omises.

Le 26 octobre 2006. M.D., G.C., M.C. et F.M.

Table des matières

1	Composition de l'équipe au 1^{er} oct. 2006	1
2	Présentation des activités	3
3	Thèmes de recherche	5
1	Perturbations singulières de domaines et d'opérateurs	5
1.A	Plaques et coques : analyse asymptotique, modèles hiérarchiques	5
1.B	Perturbations singulières de domaines	6
1.C	Opérateur de Schrödinger dans les domaines à coins	6
2	Transport de particules classiques et quantiques	7
2.A	Systèmes de particules en interactions et modélisation des collisions	7
2.B	Analyse haute fréquence de l'équation de Helmholtz	8
2.C	Interaction laser-matière et dynamique moléculaire	8
2.D	Modèles pour le transport de gaz quantique confinés	8
2.E	Modèles d'hydrodynamique quantique	9
2.F	Profils d'explosion pour des modèles cinétiques	9
3	Équations intégrales	9
3.A	Méthodes d'énergie	10
3.B	Équations intégrales espace-temps	10
3.C	Équations intégrales en électromagnétisme sur frontière non régulière	10
3.D	Équations intégrales et antennes millimétriques	10
4	Singularités pour les problèmes à coins	11
4.A	Courants de Foucault	11
4.B	Singularités au fond des fissures	11
4.C	Calcul des coefficients de singularités le long d'une arête	12
4.D	Livre sur les domaines à coins et arêtes - Régularité analytique	12
5	Propagation d'ondes en domaines non bornés	13
5.A	Méthodes PML (Perfectly Matched Layer)	13
5.B	Couplage méthodes multipôles rapides et discrétisation microlocale	13

5.C	Formulation variationnelle ultra-faible et représentations intégrales	14
5.D	Linear Sampling Method pour le problème inverse	14
5.E	Équations intégrales de Després et problèmes de transmission	14
6	Équations de Maxwell	14
6.A	Compatibilité électromagnétique et imagerie	15
6.B	Méthodes d'éléments finis pour les équations de Maxwell	16
7	Développement de codes	17
7.A	Librairie MÉLINA (Fortran)	17
7.B	Librairie MÉLINA++	17
7.C	Intégration d'éléments finis de frontière dans la librairie MÉLINA++	18
7.D	Calculs avec les éléments finis d'ordre élevé de MÉLINA	18
7.E	Simulations numériques pour les partitions minimales avec le code MÉLINA	18
7.F	Résonances dues à un conducteur dans un champ radio-fréquence	19
7.G	Intégration de la méthode multipôle rapide dans le code ASPIC du CERMICS	19
7.H	fig4tex	19
8	Systèmes de réaction-diffusion	20
8.A	Systèmes avec estimation a priori L^1	20
8.B	Renormalisation dans les edps paraboliques	20
8.C	Dispersion des polluants	20
8.D	Fronts de combustion avec convection	21
8.E	Interfaces diffuses	21
9	Schémas numériques pour les problèmes d'évolution	21
9.A	Analyse numérique des problèmes d'évolution	21
9.B	Lois de conservation	22
10	Calcul fonctionnel	23
10.A	Analyse fonctionnelle et théorie des opérateurs	23
11	Optimisation de forme	23
11.A	Régularité de formes optimales	23
11.B	Dérivées de formes : Structure - Positivité de la dérivée seconde	24
12	Collaboration mathématique/mécatronique	25
12.A	Optimisation de distribution dans des électroaimants	25
12.B	Modélisation de la capture de cellules par diélectrophorèse dans les biopuces	26
12.C	Microfluidique	26
13	Homogénéisation	26
13.A	Homogénéisation à fort contraste en dimension 3	26
13.B	Homogénéisation à fort contraste en dimension supérieure ou égale à 3	27
13.C	Homogénéisation à fort contraste en dimension 2	27

13.D Propriétés qualitatives en homogénéisation	27
14 Contrôle de systèmes gouvernés par des Edp	28
14.A Étude des méthodes de POD	28
14.B Contrôle optimal et robuste	28
14.C Utilisation des méthodes de découplage en analyse numérique	30
15 Théorie de l'approximation	30
15.A Quasi-interpolants polynomiaux et splines	30
15.B Schémas de subdivisions	32
15.C Approximants préservant la forme des données	32
15.D Approximants sur la sphère	32
15.E Approximants d'Hermite-Padé de l'exponentielle	32
16 Théorèmes de prolongement	33
16.A Fonctions Lipschitziennes absolument minimisantes	33
16.B Prolongements par fonctions de classe C^m	33
17 Imagerie Mathématique et Approximation	34
17.A Segmentation sous contraintes topologiques	34
17.B Problématique de 'regISTRATION' ou 'matching'	34
17.C Approximation des courants marins	34
4 Publications	35
1 Articles de revue internationale avec comité de lecture	35
2 Autres publications avec comité de lecture	44
3 Autres publications, preprints, articles en préparation	46
4 Ouvrages	48
5 Thèses	49
5 Invitations, coopérations	51
1 Accueil de chercheurs extérieurs	51
2 Invitations et participation à des congrès	52
3 Coopérations	58
6 Organisation de séminaires et congrès	59
1 Séminaires	59
1.A Groupe de Travail	59
1.B Séminaire d'Analyse Numérique	60
2 Canum 2006 et Journées en l'honneur de Michel Crouzeix	61
2.A Canum 2006 : 38ème Congrès d'Analyse Numérique	61
2.B Journées Scientifiques en l'honneur de Michel Crouzeix	62

3	Autres manifestations	63
3.A	Manifestations organisées dans le cadre d'un GdR	63
3.B	Manifestations récurrentes	63
3.C	Autres manifestations	64
7	Autres activités	65
1	Participation à des ACI	65
2	Participation à des projets ANR	66
3	Responsabilités dans des GdR	66
4	Collaboration avec l'IRISA	66
5	Encadrement	67
5.A	Encadrement de doctorants au sein de l'IRMAR	67
5.B	Encadrement de doctorants extérieurs à l'IRMAR	67
5.C	Rapports sur thèses et habilitations	68
6	Travail éditorial	68
7	Evaluation de projets internationaux	69

Chapitre 1

Composition de l'équipe au 1^{er} oct. 2006

Responsable : G. CALOZ

Professeurs : M. BRIANE (*Insa*), G. CALOZ (*Rennes I*), F. CASTELLA (*Rennes I & Inria*),
M. COSTABEL (*Rennes I*), A. DEBUSSCHE (*Ens Cachan*), F. MÉHATS (*Rennes I*),
M. PIERRE (*Ens Cachan*), P. SABLONNIÈRE (*Insa*), J.P. YVON (*Insa*).

Directeur de recherche CNRS : M. DAUGE

Maîtres de conférences : A. BELMILOUDI (*Insa*), M. CAMAR-EDDINE (*Insa*),
M.M. DERRIENNIC (*Insa*), E. DARRIGRAND (*Rennes I*), Y. LAFRANCHE (*Rennes I*),
E. LE GRUYER (*Insa*), C. LE GUYADER (*Insa*), F. MAHÉ (*Rennes I*),
D. MARTIN (*Rennes I*), J.L. MERRIEN (*Insa*), A. RAHMOUNI (*Iut Lannion*),
R. TEXIER-PICARD (*Ens Cachan*), G. VIAL (*AgPr Ens Cachan*).

Chargés de recherche CNRS : V. BONNAILLIE-NOËL, J. VOVELLE

Doctorants : F. FENDT (*Rennes I*), L. GOUDENÈGE (50%, *Ens Cachan*),
E.H. KONÉ (*Rennes I*), J. LAMBOLEY (*Ens Cachan*), N. LANDAIS (*Ens Cachan*),
F. LE LOUËR (*Rennes I*), D. MANCEAU (*Insa*), V. PERON (*Rennes I*),
A. RASHEED (*Insa*).

Ater : R. PONCET (*Ens Cachan*).

Professeur émérite : M. CROUZEIX (*Rennes I*).

Depuis juillet 2002, l'équipe a connu les arrivées et départs suivants :

Arrivées : 2 chargés de recherche CNRS, 2 professeurs et 5 maîtres de conférences.

J. VOVELLE, arrivé comme CR CNRS en sept. 2003 (précédemment à Marseille),

V. BONNAILLIE-NOËL, arrivée comme CR CNRS en oct. 2004 (précédemment à Paris-Sud 11),

F. CASTELLA, arrivé comme PR (*Rennes I*) en sept. 2002 (précédemment CR CNRS dans l'équipe Edp de l'IRMAR),

F. MÉHATS, arrivé comme PR (*Rennes I*) en oct. 2005 (précédemment MC à Toulouse),

A. RAHMOUNI, arrivé comme MC (*Iut de Lannion*) en sept. 2002 (précédemment à Paris 13),

- E. DARRIGRAND, arrivé comme MC (*Rennes I*) en sept. 2003 (précédemment à Bordeaux puis en post-doc à University of Delaware),
- R. TEXIER-PICARD, arrivée comme MC (*Ens Cachan*) en sept. 2003 (précédemment à Lyon),
- M. CAMAR-EDDINE, arrivé comme MC (*Insa*) en fév. 2005 (précédemment à Toulon puis en post-doc à University of Utah),
- C. LE GUYADER, arrivée comme MC (*Insa*) en sept. 2005 (précédemment à Rouen).

Départs :

- A. MIGNOT est parti en retraite en sept. 2002.
- N. TCHOU a rejoint l'équipe EDP en sept. 2002.
- Y. CAPDEBOSCQ, maître de conférence à l'INSA depuis oct. 2002, a muté à Versailles St-Quentin-en-Yvelines en sept. 2004.

Transformations :

- M. CROUZEIX a obtenu l'éméritat à son départ en retraite, en oct. 2005.
- G. VIAL a été nommé sur un poste d'Agrégé Préparateur en sept. 2002.

Doctorants ou Aters ayant fait partie de l'équipe :

- M. DAMBRINE, doctorant, puis Agrégé Préparateur à l'ENS Cachan, est MC à Compiègne depuis sept. 2002.
- T. BRIANÇON, doctorant, a quitté l'équipe en sept. 2003 pour un poste d'Ater à l'IUFM de Créteil.
- M. RIHANI, a séjourné de 2001 à 2004 à l'ENS Cachan pour préparer sa thèse d'état, soutenue à Marrakech en 2004 ; depuis lors professeur à Marrakech.
- T. HENRI, doctorant, ingénieur chez C.F.Gomma de 2004 à 2005, est ingénieur chez ARTELYS (Paris) depuis 2006.
- B. MERLET, Ater à l'ENS Cachan en 2004/2005, est MC à Paris 13 depuis sept. 2005.
- P. BOISSELES, doctorant, puis Ater à l'ENS Cachan en 2005/2006, est professeur en classes préparatoires à Brest depuis sept. 2006.
- E. FOUASSIER, doctorante, puis Ater à Lyon en 2005/2006, est MC à Toulouse III depuis sept. 2006.

Situations particulières :

- A. DEBUSSCHE est membre de deux équipes de l'IRMAR, *Analyse Numérique et Processus Stochastiques*, à 50%-50%, ainsi que C. ODASSO, le doctorant qu'il a encadré à l'ENS Cachan. Le détail de son activité et de ses publications est présenté dans le chapitre de l'équipe Processus Stochastiques.
- D. MARTIN est membre associé du Laboratoire POems, UMR 2706 CNRS-ENSTA-INRIA.
- F. CASTELLA est en délégation depuis sept. 2004 auprès de l'INRIA (laboratoire IRISA, projet IPSO).

Chapitre 2

Présentation des activités

Les membres de l'équipe d'analyse numérique se répartissent dans les trois établissements : l'Université de Rennes 1 et l'Insa de Rennes sur le site de Beaulieu, et l'Antenne Bretagne de l'ENS de Cachan sur le site de Ker Lann. Chaque groupe développe ses spécificités propres, avec le souci de favoriser les échanges et les interactions avec les collègues.

Depuis le mois de juillet 2002, l'équipe a connu d'importantes transformations avec l'arrivée de 2 chargés de recherche du CNRS et de 7 enseignants-chercheurs, relevant des 3 établissements. Sur ces 9 postes, 5 correspondent à des créations ; on peut y rajouter l'éméritat de M. Crouzeix. Les recrutements se sont faits dans la concertation et les thématiques ont été profondément renouvelées.

Les activités de recherche de l'équipe relèvent de différents domaines de l'analyse et ses applications : l'analyse théorique de problèmes, la modélisation de phénomènes physiques, l'analyse de méthodes numériques, la mise en œuvre de schémas de résolution et la réalisation de codes de calcul. Ils sont le reflet des compétences que l'on retrouve au sein de l'équipe. Les thèmes de recherche, présentés de manière exhaustive dans le chapitre 3 sous la forme d'un catalogue, s'inscrivent tous dans un et souvent plusieurs de ces domaines.

- Dans l'analyse théorique des problèmes d'équations aux dérivées partielles, on mentionne des travaux en homogénéisation (§13), optimisation de forme (§11), contrôle de systèmes (§14), réaction-diffusion (§8), perturbations singulières de domaines et d'opérateurs (§1), théorie cinétique classique ou quantique (§2), singularités des problèmes à coins (§4).
- En modélisation physique, on relève notamment la dynamique de systèmes de particules en interaction, selon des approches de mécanique classique ou quantique (§2), l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (§6), et les collaborations avec le département de mécanique (§12).
- En analyse de méthodes numériques, mentionnons des travaux sur les plaques et les coques (§1), les méthodes d'équations intégrales (§3), les méthodes PML et multipôles rapides (§5), les méthodes d'éléments finis pour l'électromagnétisme (§6), l'approximation de problèmes évolutifs (§9) et la théorie de l'approximation (§15).
- En lien avec les études théoriques, des schémas numériques sont généralement proposés et mis en œuvre. Pour le faire, nous disposons de la bibliothèque d'éléments finis MÉLINA développée au sein de l'équipe et adaptée à l'approximation de haut degré (§7).

Les membres de l'équipe entretiennent des contacts privilégiés localement avec les autres équipes de l'IRMAR, et avec des projets de l'IRISA. Plusieurs thèmes trouvent de fortes motivations dans des travaux pluridisciplinaires avec d'autres laboratoires rennais, notamment l'IETR (§3), le Laboratoire d'Imagerie Fonctionnelle (§6) et le SATIE (§12). Relevons encore les nombreuses collaborations tant nationales qu'internationales que l'on retrouve aussi bien dans les invitations que dans les travaux de recherche.

Les échanges et l'animation scientifiques ont une grande importance au niveau de l'équipe. Deux séminaires hebdomadaires sont organisés, le premier sur le site de Ker Lann et le second sur le site de Beaulieu. Plusieurs écoles d'été et colloques ont été mis sur pied dans le cadre de GdR. Des membres de l'équipe s'impliquent dans l'organisation de congrès et de rencontres. L'équipe s'est investie pendant un an, de juin 2005 à juin 2006 dans l'organisation conjointe de deux manifestations scientifiques importantes qui se sont déroulées à Guidel : le 38ème Congrès d'Analyse Numérique du 29 mai au 2 juin 2006, les Journées d'analyse fonctionnelle et numérique en l'honneur de Michel Crouzeix du 2 au 3 juin 2006.

Chapitre 3

Thèmes de recherche

1 Perturbations singulières de domaines et d'opérateurs

Nous avons regroupé dans ce thème des travaux portant sur

- A. Les domaines minces (plaques et coques) où une dimension, l'épaisseur ε , est très petite par rapport aux autres dimensions ; l'adimensionnement du problème produit un système où ε factorise des termes de la partie principale.
- B. Des domaines plans polygonaux ou pseudo-polygonaux perturbés près d'un coin par une couche mince ou une déformation d'échelle ε .
- C. L'opérateur de Schrödinger avec champ magnétique, où le petit paramètre est la constante $\hbar$ dans l'opérateur.

Ces problèmes ont en commun de posséder des solutions à fort gradient, et de se prêter à une analyse multi-échelle. Signalons que des questions de perturbations singulières interviennent aussi dans plusieurs problèmes présentés plus loin dans la section 2 : transport de particules chargées confinées dans des domaines minces 2.D.a), analyse semiclassique 2.A et 2.D.b), termes sources haute-fréquence 2.B. Pour les simulations numériques résolvant les grandes oscillations, voir le point 7.D du thème 7.

1.A Plaques et coques : analyse asymptotique, modèles hiérarchiques.

M. DAUGE, avec E. Faou, C. Schwab, M. Suri, Z. Yosibash

1.A.a) Survey sur les modèles hiérarchiques dans les plaques et les coques. M. DAUGE, avec E. Faou (IRISA), Z. Yosibash (Beer Sheva, Israël).

À l'invitation de E. Stein, nous avons rédigé un chapitre [221] dans l'Encyclopedia of Computational Mechanics, où nous avons fondé la présentation des modèles hiérarchiques (i.e., polynomiaux en l'épaisseur) sur les développements multi-échelle des solutions. Il en ressort que, même en présence de couches limites, les effets de verrouillage peuvent être mieux surmontés par l'emploi de polynômes de haut degré, tant pour le modèle que pour sa discrétisation ultérieure par éléments finis.

1.A.b) Méthodes “hp” pour les plaques. M. DAUGE, avec C. Schwab (ETH Zürich).

Dans [103], on se base aussi sur les développements ‘termes surfaciques - couches limites’ pour proposer et analyser une méthode de type hp en éléments finis, adaptée à la géométrie d’une plaque mince : la région latérale de couche limite est discrétisée en vrai tridimensionnel, alors que la région “centrale” a une discrétisation basée sur le plan médian, à l’instar des modèles hiérarchiques.

1.A.c) “Buckling” dans les plaques. M. DAUGE, avec M. Suri (UMBC Baltimore).

Dans [104, 105] nous étudions l’approximation des valeurs propres d’un problème de “buckling” (flambement) dans des plaques : on doit tenir compte d’une contrainte pré-existante et le problème spectral est du type $Au = \lambda BU$ où, a priori, A et B sont d’ordre 2 tous les deux. Pour un domaine Ω de forme quelconque, on ne peut en général rien calculer, car les éventuelles valeurs propres sont noyées dans le spectre essentiel. Par contre, dans le cas de plaques minces, il existe une borne inférieure strictement positive pour le spectre essentiel, indépendamment de ε . Comme on démontre par ailleurs que les valeurs propres se comportent en $\mathcal{O}(\varepsilon^2)$ quand $\varepsilon \rightarrow 0$, on récupère la possibilité de calculer le spectre ponctuel.

1.B Perturbations singulières de domaines.

G. CALOZ, M. COSTABEL, M. DAUGE, G. VIAL avec M. Dambrine, S. Tordeux

Les problèmes de perturbations singulières en domaines non-réguliers (i.e. présentant coins ou arêtes) interviennent fréquemment dans les applications. On peut citer le cas des couches diélectriques absorbantes dans les problèmes de furtivité en électromagnétisme ou les raidisseurs minces en élasticité. L’analyse asymptotique quand le petit paramètre d’épaisseur tend vers 0 requiert une compréhension fine des singularités du problème limite ainsi que ses singularités dites “à l’infini”. Les techniques mises au point par les membres de l’équipe ont permis de préciser la performance de conditions aux limites approchées en présence de coins, voir [72, 228, 154]. Elles sont aussi utilisées pour l’étude asymptotique de problèmes présentant des petites inclusions [101], des perturbations auto-similaires [153], ou de petits défauts, cf le projet Jeunes Chercheurs MACADAM, voir aussi §2.

1.C Opérateur de Schrödinger dans les domaines à coins.

V. BONNAILLIE-NOËL, M. DAUGE

La théorie de la supraconductivité, modélisée par Ginzburg et Landau conduit à étudier le spectre de l’opérateur de Schrödinger avec champ magnétique et paramètre semi-classique h lorsque $h \rightarrow 0$. L’objet de notre travail consiste à analyser l’influence de la géométrie du domaine (en notamment pour un domaine à coins) sur l’apparition de la supraconductivité. L’analyse asymptotique [51, 49] a permis de déterminer la localisation des vecteurs propres associés aux plus petites valeurs propres : ils ont une structure double échelle, constituées d’une couche limite aux coins à l’échelle $\sqrt{h}$ et d’un terme oscillant à l’échelle h . Des simulations numériques ont complété cette étude :

- Construction d’estimateurs d’erreur *a posteriori* pour calculer les modes propres avec des éléments finis de bas degré, voir [50, 5, 194].

- Comparaison de cette méthode avec la stratégie “ p -version” qui consiste à augmenter le degré d’approximation, voir [52]. Cette stratégie se montre particulièrement efficace et permet d’illustrer des résultats théoriques fins concernant les développements asymptotiques des premiers modes propres, voir aussi §7.

2 Transport de particules classiques et quantiques

Dans le contexte de la mécanique classique, le modèle élémentaire qui décrit la dynamique d’un ensemble de N particules en interaction est l’équation de Newton. C’est un système de N équations différentielles ordinaires, décrivant l’évolution de la position et de la vitesse de chaque particule. Pour un grand nombre N de particules identiques, comme dans le cas d’un gaz, la résolution de l’équation de Newton devient inadaptée, et l’on adopte plutôt le point de vue de la théorie cinétique des gaz : l’objet d’intérêt est la probabilité qu’une particule possède, à un instant donné, la vitesse v et se situe à la position x . Cet objet, appelé fonction de répartition, décrit le comportement collectif du gaz et non le comportement individuel de chaque particule. Il satisfait non pas à une équation différentielle ordinaire, pour laquelle l’évolution n’est que temporelle, mais à une équation aux dérivées partielles, pour laquelle l’évolution se fait à la fois en temps et en espace. On parle d’équation de transport, ou de Vlasov. Par ailleurs, dans le contexte de la mécanique quantique, le modèle élémentaire est donné par l’équation de Schrödinger, une équation aux dérivées partielles. Son inconnue, qui dépend d’une variable de temps et de N variables d’espace, est appelée fonction d’onde du système. Ce modèle s’étend de différentes façons au cas d’un grand nombre de particules identiques. En somme, pour un système physique donné on peut adopter une description quantique ou classique, suivant l’échelle des phénomènes considérés : au niveau microscopique, une description quantique de la matière est appropriée, et les particules ont un comportement ondulatoire. Au niveau macroscopique, ces ondes ont une longueur d’onde petite, *i.e.* une fréquence grande, et seule leur “valeur moyenne” importe. Ainsi, une description classique peut être adoptée : les particules acquièrent un caractère corpusculaire. La question du comportement global de tels systèmes pour un grand nombre de particules, et des modèles associés, est également pertinente.

Les travaux présentés dans cette section s’inscrivent dans cette problématique et sont pour la plupart reliés à ces questions d’échelle.

2.A Systèmes de particules en interactions et modélisation des collisions. F. CASTELLA

Dans la série de travaux [41, 42, 43, 44, 79, 86, 87] concernant des systèmes de particules quantiques en interaction, F. CASTELLA a étudié comment, à l’échelle macroscopique, ces interactions se comportent comme des “collisions”, le mécanisme classique de “collision” étant alors piloté par un coefficient de nature quantique, mémoire de l’interaction microscopique dont il est issu. L’enjeu scientifique provient de ce que les “collisions” inter-particules ne sont pas *a priori* décrites par l’équation de Schrödinger. On retrouve quantitativement des résultats physiquement bien compris dans le contexte des semi-conducteurs, et de la physique statistique.

2.B Analyse haute fréquence de l'équation de Helmholtz. F. CASTELLA

Les travaux [40, 80, 85] s'intéressent à la description de certaines ondes haute-fréquence en milieu d'indice de réfraction variable, qui interviennent dans le contexte de l'électromagnétisme. Les propriétés géométriques de la propagation des ondes ont été étudiées. Le point de vue cinétique, les méthodes d'analyse haute-fréquence, ont ici acquis une place très importante dans ce travail, de même que certains aspects géométriques fins de la propagation d'ondes.

2.C Interaction laser-matière et dynamique moléculaire. F. CASTELLA

F. CASTELLA s'est intéressé dans [45, 46, 74, 75, 81, 82, 83, 84] à des modèles réalistes d'interaction laser-matière, pour partie en collaboration avec Alcatel, ainsi qu'à certaines questions issues de la dynamique moléculaire (étude de la dynamique de protéines décrites, disons, par un système d'équations de Newton couplant les atomes constitutifs). Pour le premier thème, les aspects haute-fréquence restent bien sûr centraux, mais les objets et techniques sont différents. Pour ces deux thèmes, la modélisation est un enjeu clé, et des questions de nature numérique interviennent. Dans l'étude de ces équations aux dérivées partielles, on intègre des techniques issues de l'analyse des équations différentielles ordinaires.

2.D Modèles pour le transport de gaz quantique confinés. F. MÉHATS. En thèse : F. FENDT

2.D.a) Modèles asymptotiques pour le transport fortement confiné. Dans la plupart des dispositifs électroniques à l'échelle du nanomètre, le transport de charges s'effectue préférentiellement dans certaines directions d'espace, en raison d'un fort confinement transverse.

Dans le but de diminuer le coût de calcul des simulations numériques, on tire parti de cette spécificité en utilisant des modèles précis à dimensionalité réduite. La base de ces travaux est la mise en place et l'analyse d'une asymptotique "à fort confinement partiel", qui prend la forme d'un problème de perturbation singulière. Il s'agit concrètement d'étudier l'équation de Schrödinger avec un potentiel fort. Le cas du système de Schrödinger-Poisson est étudié dans [134] et la thèse de F. FENDT (en cours, encadrée par F. MÉHATS), avec pour application la nanoélectronique et le transport de charges dans des nanostructures. Dans le cas de condensats de Bose-Einstein, cette méthodologie est adaptée dans [38, 190] pour traiter des équations de Schrödinger non linéaires cubiques.

2.D.b) Modèles hybrides quantiques-classiques. Cette série de travaux [34, 35, 37, 162] concerne une hiérarchie de modèles –appelés modèles de sous-bandes– spécialement adaptés pour des systèmes physiques dans lesquels les effets quantiques ne se font ressentir que dans certaines directions. Ils reposent sur un couplage directionnel entre une équation quantique (pour la direction liée à la petite dimension) et des équations issues de la mécanique classique pour les directions de transport. Plus précisément, l'énergie cinétique est quantifiée (discrète) dans une direction et est une variable continue dans les autres directions. D'un point de vue pratique, on profite ainsi des spécificités de chaque description : le formalisme quantique rend mieux compte des petites échelles et des effets ondulatoires, tandis que les modèles classiques sont plus faciles à traiter numériquement et incluent le traitement des effets collisionnels. Partant de l'échelle la

plus microscopique (l'équation de Schrödinger) en allant jusqu'aux modèles macroscopiques (dérive-diffusion), nous avons étudié cette hiérarchie de modèles, depuis leur analyse théorique jusqu'à leur implémentation numérique. La thèse de Nicolas Vauchelet (2004–2007), encadrée par F. MÉHATS et N. Ben Abdallah à Toulouse, porte sur cette thématique.

2.E Modèles d'hydrodynamique quantique fondés sur des principes de minimisation d'entropie. F. MÉHATS

En traduisant dans le formalisme quantique les principes permettant d'obtenir les équations de l'hydrodynamique (à l'échelle macroscopique) à partir d'équations cinétiques (à l'échelle microscopique), on peut établir des modèles dits d'hydrodynamique quantique. Ces modèles s'écrivent comme leurs analogues classiques, avec toutefois une différence notable : des termes non locaux en espace interviennent dans les équations, liés au caractère quantique des modèles microscopiques dont on est parti. Les travaux [107, 106, 53, 174] concernent cette thématique, depuis l'établissement de cette nouvelle classe prometteuse de modèles, jusqu'à leur implémentation numérique, en passant par des comparaisons avec les autres modèles quantiques existant sur le marché. La thèse de Samy Gallego est en cours sur ces sujets (encadrée par F. MÉHATS et P. Degond à Toulouse).

2.F Profils d'explosion pour des modèles cinétiques. F. MÉHATS

Il est connu depuis plus de vingt ans que des modèles cinétiques gravitationnels peuvent générer des solutions explosives en temps fini. Les exemples les plus connus sont les systèmes de Vlasov-Poisson en dimension 4 et de Vlasov-Poisson relativiste en dimension 3. Toutefois, les arguments utilisés pour le démontrer sont de nature obstructive (arguments dits de viriel) et ne donnent aucune information sur la dynamique de l'explosion elle-même (temps ou vitesse d'explosion). En adaptant à ce contexte des travaux réalisés ces dernières années autour de Frank Merle sur les problèmes dispersifs (Schrödinger non linéaire, KdV...), nous avons pu dans [128, 129] obtenir de premiers résultats très prometteurs permettant de décrire qualitativement ces phénomènes d'explosion.

3 Équations intégrales

Nos travaux sur les méthodes numériques pour les équations intégrales de frontière couvrent l'analyse fonctionnelle fondamentale d'équations générales de seconde espèce et des systèmes venant de l'électromagnétisme, mais aussi l'analyse de stabilité de méthodes de collocation pour les équations en espace-temps ainsi que l'analyse et l'application de méthodes rapides comme les méthodes d'ondelettes et les méthodes multipôles rapides. D'autres projets concernant des méthodes d'équations intégrales sont décrits dans la section 5.

3.A Méthodes d'énergie. M. COSTABEL

Dans une étude historique sur les méthodes variationnelles pour les équations intégrales [219], un argument de Poincaré sur la convergence de la série de Neumann pour l'opérateur du potentiel de double couche a été trouvé qui se généralise. Il implique la convergence de cette série dans la norme d'énergie pour le potentiel de double couche pour des systèmes elliptiques d'ordre 2 sur des frontières lipschitziennes. Ceci donne une démonstration alternative d'un résultat démontré en 2001 par Steinbach et Wendland. Dans [197] cet argument est généralisé au cas du bilaplacien sur des domaines non réguliers, où aucune analyse du système de seconde espèce correspondant au potentiel de double couche n'était connue auparavant.

3.B Équations intégrales espace-temps. M. COSTABEL, avec J. Saranen

Un travail sur l'analyse de méthodes de collocation pour les équations intégrales venant de l'équation de la chaleur a été terminé par la publication [95]. Sur invitation des éditeurs de l'"Encyclopedia of Computational Mechanics", un chapitre de synthèse [218] a été écrit qui décrit les principes d'analyse et d'analyse numérique de la méthode des équations intégrales de frontière pour les problèmes hyperboliques et paraboliques.

3.C Équations intégrales en électromagnétisme sur frontière non régulière. M. COSTABEL, avec C. Safa, A. Buffa, D. Sheen, C. Schwab

Dans la thèse de C. Safa, dont un résultat principal a été publié dans [172], des antennes imprimées ont été modélisées par l'équation intégrale du champ électrique. Dans ce travail qui était motivé par une collaboration avec l'électronique, l'accent était mis sur l'analyse d'une méthode numérique rapide basée sur l'utilisation de bases d'ondelettes. Pour la formulation de la méthode et pour l'analyse de l'équation intégrale, une analyse de la décomposition de Hodge sur des surfaces ouvertes et non régulières a dû être mise en place. C'était l'objet de la publication [69], et cette méthode d'analyse des équations intégrales de l'électromagnétisme et de leur approximation a été présentée dans [68].

3.D Équations intégrales et antennes millimétriques. M. COSTABEL, E. DARRIGRAND ; en thèse : E.H. KONÉ, F. LE LOUËR

Une collaboration entre l'équipe *Analyse Numérique* de l'IRMAR et le groupe *Antennes et Hyperfréquences* de l'IETR se met en place dans le but d'analyser et de mettre en œuvre numériquement une formulation intégrale pour l'optimisation d'antennes lentilles aux fréquences millimétriques, avec la participation de Ronan Sauleau (IETR). Cette collaboration fait l'objet d'une thèse à l'IRMAR depuis novembre 2005, encadrée par Martin Costabel et Eric Darrigrand, financée par la région Bretagne (projet ALMIFI). Il s'agit dans un premier temps d'analyser différentes formulations intégrales du problème afin de choisir parmi les formulations surfaciques et les formulations volumiques. Par la suite, la mise en œuvre impliquera l'utilisation de méthodes rapides dont les méthodes multipôles rapides. Une deuxième thèse a commencé en septembre 2006 qui est consacrée aux questions d'optimisation de forme en

utilisant des dérivées de forme des opérateurs intégraux surfaciques en électromagnétisme tri-dimensionnel.

4 Singularités pour les problèmes à coins

Il s'agit de problèmes (ou systèmes) aux limites elliptiques posés sur des domaines en dimension 2, 3 ou supérieure, présentant des singularités coniques ou polyédrales sur leur frontière. Les solutions ont un comportement singulier qui peut se décrire par un développement de Taylor généralisé à exposants complexes.

4.A Courants de Foucault. M. COSTABEL, M. DAUGE, avec S. Nicaise

L'approximation “courants de Foucault” (*eddy current*) consiste à négliger la permittivité ε en présence d'un corps conducteur. Par la preuve d'une convergence en énergie, nous justifions dans quel sens cette approximation est la limite d'une famille de problèmes de transmission pour les équations de Maxwell : plutôt qu'une limite basse fréquence $\omega \rightarrow 0$, cette limite doit être comprise au sens de Bossavit, i.e., quand le ratio de la conductivité σ sur le produit $\varepsilon\omega$ tend vers l'infini, voir [91].

De plus nous décrivons les singularités des solutions du problème *eddy current* quand le conducteur est polyédral. Elles sont reliées à des problèmes scalaires comme celles des problèmes de transmission Maxwell dont elles sont la limite quand $\sigma/\varepsilon\omega \rightarrow \infty$, voir [91, 92, 170]. Cette convergence n'empêche pas qu'il y ait des différences de régularité à la limite par disparition de certains termes singuliers.

4.B Singularités au fond des fissures.

M. COSTABEL, M. DAUGE, avec R. Duduchava, S. Nazarov, J. Sokolowski

En élasticité, la structure des déplacements et contraintes aux fronts de fissures est d'essentielle importance pour l'application des critères de propagation. En dimension 2, pour une fissure droite, il est connu que les déplacements ont une asymptotique (en coordonnées polaires r, θ centrées au front de fissure) $r^{1/2}\varphi_1(\theta) + r^{3/2}\varphi_2(\theta) + \dots$. Par contre, si la fissure est courbe, et plus généralement en dimension 3, la théorie générale de Kondrat'ev laisse prévoir des termes supplémentaires en $r^{3/2} \log r \psi_2(\theta) + \dots$. Dans [89], avec R. Duduchava (Tbilissi), nous avons démontré la totale absence de logarithmes dans l'asymptotique bi- et tri-dimensionnelle des solutions de l'élasticité homogène (mais non nécessairement isotrope) autour d'un front de fissure (qui est soit un arc régulier, soit une surface régulière).

Ce résultat est la démonstration d'une conjecture formulée il y a une quinzaine d'années et a des retombées pour d'autres types de problèmes où interviennent des fissures, par exemple un problème à variation temporelle lente modélisé par un noyau de Volterra (matériau élastique avec mémoire) : avec S. Nazarov (St Petersburg) et J. Sokolowski (Nancy) nous avons montré [90] que dans le cas d'un matériau homogène, les singularités logarithmiques n'apparaissent toujours pas, alors que dans un cas plus général (par exemple une jonction de deux matériaux différents) il existe de nouvelles singularités, les “paquets logarithmiques”.

4.C Calcul des coefficients de singularités le long d’une arête.

M. COSTABEL, M. DAUGE, avec N. Omer, Z. Yosibash

Les solutions $\mathbf{u}$ des équations de l’élasticité dans un domaine polyédral Ω admettent, entre autres, des singularités d’arêtes qui ont la structure tensorielle $\sum_i c_i(z) r^{\alpha_i} \varphi_i(\theta)$, où z est une abscisse le long de l’arête. Les coefficients c_i dépendent des données du problème et leur valeur donne une mesure de la concentration des contraintes. Si de nombreuses formules abstraites existent pour la détermination théorique des c_i , aucune n’a jusqu’à présent pu donner lieu à une implémentation numérique suffisamment générale du fait de la complexité des problèmes auxiliaires à résoudre.

Avec Z. Yosibash (Beer Sheva) nous avons proposé dans [94] une méthode où des moments des coefficients c_i attachés à une solution $\mathbf{u}$ sont approchés par des intégrales sur des portions cylindriques de rayon R autour de l’arête avec une erreur en R^κ où κ est un nombre positif connu spécifique de l’ordre de la méthode et de la géométrie du problème. La solution $\mathbf{u}$ doit être préalablement calculée, ainsi que les solutions d’un nombre fini de problèmes en dimension 1 en la variable angulaire.

La méthode a été effectivement implémentée dans le cadre d’un code professionnel d’élasticité “StressCheck” par N. Omer. Ceci a constitué son travail de thèse, sous la direction de Z. Yosibash à Beer Sheva. La méthode a été validée d’abord pour des opérateurs scalaires, et ensuite pour le système de l’élasticité isotrope. Ceci a donné lieu aux publications [141] et [155].

4.D Livre sur les domaines à coins et arêtes - Régularité analytique.

M. COSTABEL, M. DAUGE

Notre motivation pour nous lancer dans la rédaction d’un livre sur les problèmes elliptiques dans les domaines à coins est double :

- L’établissement de la régularité analytique à poids est indispensable pour le fondement théorique des méthodes d’éléments finis “hp”, consistant en un raffinement géométrique du maillage combiné à une montée en degré polynomial. Si la preuve en a été faite dans certains cas particuliers en dimension 2 par I. Babuška et B. Guo, le cas de la dimension 3 qui contient les situations compliquées des polyèdres pour lesquels coins et arêtes se combinent, n’a jamais été traité rigoureusement. Le format d’un article standard ne se prête pas à une exposition compréhensible des preuves, vu leur technicité. Le format d’un livre permet de détailler clairement les étapes successives en passant par le cas régulier où nous revisitons les anciens résultats de Morrey et Nirenberg, le cas conique, les arêtes, et, enfin, les coins polyédraux.
- Il existe une demande des “utilisateurs” des domaines à coins (numériciens, ingénieurs) pour un exposé accessible des résultats disponibles sur les singularités de coins et arêtes. Notre but est de fournir une description auto-contenue des résultats et des preuves, adaptée au niveau M2-doctorat et en tous cas, d’un accès moins ardu que le Springer Lecture Note de M. DAUGE (1988).

5 Propagation d'ondes en domaines non bornés

Pour le traitement numérique de problèmes en domaines non bornés, deux méthodes classiques sont la troncature du domaine avec des conditions aux limites artificielles, et la méthode des équations intégrales. Pour la troncature du domaine, la méthode PML est une alternative intéressante aux méthodes des conditions aux limites absorbantes plus anciennes. Elle consiste à entourer le domaine d'intérêt par une couche de matériau où les ondes sont artificiellement atténuées. Le modèle qui régit la propagation dans la couche doit éviter les réflexions à l'interface artificielle, mais peut par ailleurs être choisi de façon largement arbitraire. Les méthodes intégrales permettent de réduire la dimension, en utilisant une représentation du champ dans le domaine non borné par des densités surfaciques. Elles sont devenues particulièrement efficaces depuis l'introduction de méthodes rapides telles les FMM (*Fast Multipole Methods*).

5.A Méthodes PML (Perfectly Matched Layer). A. RAHMOUNI

Dans [145] on a établi un modèle de couche “Perfectly Matched Layer” (PML) pour les équations d'Euler linéarisées d'abord dans le cas sans convection puis dans le cas général. Le système régissant ce modèle consiste en une perturbation d'ordre zéro du système originel ainsi qu'en l'introduction de nouvelles inconnues définies par des équations différentielles ordinaires ce qui assure la conservation du caractère fortement hyperbolique, et par conséquent fortement bien posé, du système.

Le modèle PML classique s'est avéré instable dans le cas de l'élastodynamique anisotrope. Ces instabilités sont dues aux modes non-physiques du modèle. Pour remédier à ces problèmes on a proposé dans [146] un modèle portant sur les inconnues primitives. Ce modèle a été testé avec succès dans le cas isotrope. L'étude reste à être finalisée dans le cas anisotrope mais les premiers résultats sont encourageants.

Enfin l'extension et l'adaptation de cette méthode au cas non linéaire (d'abord sur le cas des équations d'Euler) est en cours ; un cas test, jet supersonique, avait déjà permis [213] de voir l'efficacité du modèle PML obtenu par une méthode de flux-splitting.

5.B Couplage méthodes multipôles rapides et discrétisation microlocale. E. DARRIGRAND, avec A. Bachelot, K. Mer-Nkonga

Le couplage d'une méthode de discrétisation microlocale avec des méthodes multipôles rapides dans le cadre des formulations intégrales de Bruno Després pour les équations de Helmholtz et de Maxwell [7, 156], dans le cadre d'un travail en collaboration avec Alain Bachelot (Bordeaux 1) et Katherine Mer-Nkonga (CEA-CESTA) se poursuit aujourd'hui dans les directions suivantes :

- Développement d'une version du couplage de degré élevé.
- Optimisation des fonctions de transfert de la méthode multipôle rapide multi-niveaux combinée à la discrétisation microlocale.
- Amélioration de l'approximation de la phase impliquée dans la discrétisation microlocale afin de traiter des obstacles non convexes.

5.C Formulation variationnelle ultra-faible et représentations intégrales.

E. DARRIGRAND, avec P. Monk

Dans le cadre d'une formulation variationnelle volumique, les représentations intégrales permettent une meilleure définition de l'inconnue sur la surface artificielle. Un travail avec Peter Monk (Delaware) a consisté à appliquer l'utilisation des représentations intégrales dans le cadre d'une formulation variationnelle ultra-faible. Les premiers résultats [173, 102] nous motivent à poursuivre dans les directions suivantes :

- accélération de la méthode par l'application d'une méthode multipôle rapide multi-niveaux.
- choix des fonctions de base de la formulation variationnelle ultra-faible elle-même ; collaboration en cours avec Bruno Després (Paris 6 et CEA) et Olivier Cessenat (CEA-CESTA).

5.D Linear Sampling Method pour le problème inverse.

E. DARRIGRAND, avec F. Cakoni, D. Colton

Concernant les problèmes inverses en propagation d'ondes en domaine extérieur, la méthode de reconstruction de l'objet dite "Linear Sampling Method" est développée depuis les années 90. Dans le cadre d'une collaboration avec Fioralba Cakoni (Delaware) et David Colton (Delaware), nous nous intéressons à cette méthode, plus particulièrement dans le cas d'obstacles plats

- avec des conditions absorbantes ou de conducteur parfait [70],
- avec des conditions au bord mixtes [71, 166].

5.E Équations intégrales de Després et problèmes de transmission.

E. DARRIGRAND, avec F. Cakoni, G. Hsiao

Lors d'une résolution par formulation intégrale, les conditions aux bords caractérisent l'objet considéré. Cette caractérisation peut être exprimée par des conditions de transmission associées à la résolution du problème intérieur. Une collaboration est en cours avec Fioralba Cakoni et George Hsiao (Delaware) autour de l'analyse des équations intégrales de Bruno Després avec conditions de transmission.

6 Équations de Maxwell

Les questions relatives à l'électromagnétisme que nous avons considérées concernent les équations de Maxwell en régime harmonique $\text{rot } E - i\omega \mu H = 0$ et $\text{rot } H + i\omega \varepsilon E = J$. Nos contributions apportent une connaissance précisée pour la régularité et les singularités des solutions en présence de coins ou d'arêtes dans le domaine, aboutissant à de nouvelles méthodes d'approximation, ou à des évaluations optimales d'anciennes méthodes. Dans le cadre d'une collaboration en imagerie par résonance magnétique, nous avons été amené à travailler sur des modèles de la magnétostatique. Signalons que des modèles de propagation d'ondes électromagnétiques sont aussi étudiés dans d'autres thèmes : ci-dessus dans la section 5 traitant les problèmes extérieurs, et dans la section 3 sur les équations intégrales, paragraphes 3.C et

3.D sur les problèmes d'antennes.

6.A Compatibilité électromagnétique et imagerie. P. BOISSELES, G. CALOZ, avec S. Balac. En thèse : V. PERON

L'objectif de nos travaux est l'aide au développement d'un outil de simulation numérique efficace permettant d'appréhender les différents phénomènes apparaissant dans un imageur. Les techniques d'imagerie par résonance magnétique nucléaire font usage de plusieurs champs électromagnétiques. La modélisation de ces techniques passe par une connaissance précise de ces champs : statiques et gradients (généralement émis par d'imposantes bobines), radio-fréquence (émis par des antennes) et induits (non désirable au niveau de l'expérimentation).

De précédents travaux avaient permis de simuler numériquement des artefacts de susceptibilité magnétique. Nos recherches se sont orientées dans deux directions : les champs statiques en vue de l'optimisation et les champs radio-fréquence. Les codes de calcul utilisent la bibliothèque d'éléments finis MÉLINA, voir thème 7

6.A.a) Étude des champs statiques. G. CALOZ, avec S. Balac (Lyon).

Les publications [11], [12], [13], [14] et [186] s'inscrivent dans cette direction de recherche. Dans un imageur, à un fort champ de base B_0 s'ajoutent des champs variant linéairement dans une direction donnée, champ de module à l'ordre de grandeur valant 10^{-4} fois celui du champ de base. La *finesse* d'un imageur est liée à la forte variation de ces champs, que l'on souhaite optimiser. Leur modélisation conduit à des problèmes de type magnétostatique dans l'espace. Pour réduire le système, nous travaillons avec le potentiel scalaire réduit. Il est bien connu que la présence de matériaux magnétiques conduit à des difficultés au niveau de la résolution. Nous analysons précisément comment la résolution peut être améliorée par l'introduction du potentiel total dans certaines zones, en utilisant la perméabilité magnétique comme paramètre. La méthode est maintenant complètement justifiée et des calculs en configuration axisymétrique sont effectués.

6.A.b) Le champ radio-fréquence. P. BOISSELES et G. CALOZ

Les publications [192], [224] s'inscrivent dans cette direction de recherche. Les expérimentateurs ont constaté de l'échauffement dans certaines configurations, qui serait provoqué par le champ radio-fréquence (créé par une antenne et engendrant le phénomène de résonance). Pour étudier l'effet de ce champ dans un imageur, nous sommes conduits au système de Maxwell complet. Dans une première étape, nous nous sommes concentrés sur l'étude de l'antenne *cage d'oiseau* et le développement d'un code de calcul du champ radio-fréquence. Ce champ étant connu (du moins une bonne approximation), on peut alors entreprendre l'étude de son impact sur l'objet à imager dans des configurations axisymétriques, où l'abaissement de la dimension permet des simulations numériques suffisamment précises. Des premiers résultats faisant apparaître une résonance sont obtenus. Ceux-ci doivent encore être validés par une comparaison avec des résultats expérimentaux, voir aussi point 7.F du thème 7.

6.A.c) Matériaux à fort contraste. G. CALOZ, M. DAUGE et V. PERON en thèse.

Il s'agit de l'investigation des solutions des équations de Maxwell harmoniques en présence de forts contrastes entre les paramètres électromagnétiques de différents matériaux en interaction. L'étude de l'effet de peau par développements asymptotiques multi-échelle est en cours. Les résultats seront ensuite développés en vue d'applications précises, à savoir la détection d'effets électromagnétiques indésirables dans le cadre général de la Compatibilité ÉlectroMagnétique et plus particulièrement en Imagerie par Résonance Magnétique, *cf* point ci-dessus.

6.B Méthodes d'éléments finis pour les équations de Maxwell.

M. COSTABEL, M. DAUGE, avec A. Buffa, C. Schwab

Parmi les formulations variationnelles des problèmes aux limites pour les équations de Maxwell, il en existe dont la discrétisation par éléments finis ne mène pas à une approximation convergente du problème à valeurs propres. Nous avons étudié deux situations où ce type d'obstruction peut se produire :

- La formulation régularisée avec des éléments finis nodaux dans des domaines à coins non convexes,
- La formulation par certaines familles d'éléments finis d'arête.

Pour remédier à la première obstruction nous avons développé la méthode de "régularisation à poids" qui fait maintenant partie des méthodes standard, utilisée par des numériciens et par des ingénieurs. Concernant les éléments d'arête, nous avons montré la convergence des versions p et hp pour les "bonnes" familles d'éléments dans des cas bidimensionnels. Sur invitation des éditeurs, nous avons dans [220] présenté une synthèse des problèmes de convergence des méthodes d'éléments finis pour l'approximation du problème aux valeurs propres des équations de Maxwell.

6.B.a) Méthode de régularisation à poids. M. COSTABEL, M. DAUGE, avec C. Schwab (ETH Zürich.) La publication [88] introduit cette méthode qui permet d'utiliser des éléments finis nodaux standard pour la discrétisation des problèmes aux limites des équations de Maxwell même en présence de coins non convexes. Des estimations d'erreur de base y sont montrées et appliquées à la h -version des éléments finis. La hp -version et sa convergence exponentielle sont analysées dans [93].

6.B.b) Raffinement anisotrope pour les éléments d'arête. M. COSTABEL, M. DAUGE, avec A. Buffa (Pavie). Quand le domaine a des coins et arêtes, on peut construire des éléments finis anisotropes adaptés aux singularités du champ électromagnétique. Dans [67] il est montré avec quels raffinements anisotropes on peut récupérer la convergence d'ordre optimal pour des éléments d'arête de degré élevé. Les estimations d'erreur sont basées sur les résultats de régularité publiés dans [66].

6.B.c) Analyse de la compacité discrète pour la "p-version". M. COSTABEL, M. DAUGE, avec D. Boffi (Pavie), L. Demkowicz (Austin, Texas). La compacité discrète est une condition

nécessaire et en combinaison avec d'autres propriétés connues des éléments d'arête, aussi suffisante pour l'approximation correcte du problème spectral des équations de Maxwell. Pour la *hp*-version des éléments d'arête en dimension 2, nous avons démontré cette condition dans le cas de maillages triangulaires dans [48] et dans le cas de maillages rectangulaires dans [47].

7 Développement de codes

7.A Librairie MÉLINA (Fortran). D. MARTIN

Le code MÉLINA est une bibliothèque de procédures pour la résolution de problèmes aux limites à l'aide de la méthode des éléments finis. Il s'agit d'un code de recherche dont l'évolution est en étroite interaction avec les thèmes développés dans l'équipe.

Dans sa version Fortran, MÉLINA est une simulation d'un langage *objet*. Les *objets* définis et manipulés par l'utilisateur sont essentiellement la traduction informatique des termes d'une formulation variationnelle d'un problème. La résolution d'un problème consiste alors à rédiger un algorithme agissant sur les *objets* à l'aide de *macro-opérations*, par exemple les algorithmes de l'algèbre linéaire matricielle.

MÉLINA est doté d'une importante documentation en ligne [207], donnant accès à son fonctionnement depuis son installation jusqu'à son utilisation illustrée de nombreux exemples.

Au sein de l'équipe en particulier, MÉLINA est utilisé pour la résolution de divers problèmes issus de l'électromagnétisme, voir ci-dessous. Le code est toujours en développement, en collaboration avec le laboratoire POEMS (UMR CNRS 2706 ENSTA/INRIA) au sein duquel il est utilisé pour la résolution de problèmes extérieurs (électromagnétisme, acoustique en écoulement, etc.) à l'aide de méthodes de couplage éléments finis/ représentation intégrale ou éléments finis localisés et de méthodes PML (perfectly matched layers).

Le code sert aussi de support pratique pour des cours de mathématiques appliquées (2ème et 3ème cycles) à l'UFR de Mathématiques de Rennes, à l'ENSTA de Paris, à l'ENIT de Tunis, au LORIA de Nancy. Il a été utilisé pour l'obtention de résultats numériques illustrant plusieurs thèses à Rennes, Nantes, Tunis et dans des universités d'Ile de France (cf. Pressbook sur le site [207], liste de publications illustrées de résultats issus de l'utilisation du code).

7.B Librairie MÉLINA++.

Y. LAFRANCHE, D. MARTIN avec C. Chambeyron, E. Lunéville

Les limites de l'implémentation du code version Fortran et l'obsolescence du langage Fortran 77, tant dans la maintenance du langage que dans son apprentissage auprès des jeunes chercheurs, a conduit à l'évolution du code vers un langage plus approprié à sa conception *objet*. Cette évolution nécessaire et une volonté de plus grande généralité de son implémentation (introduction de méthodes d'éléments finis d'arêtes, par exemple) ont donc conduit à une réécriture en C++.

Après une phase préliminaire de réflexion portant sur l'architecture interne de la nouvelle bibliothèque, une première version fonctionnelle de MÉLINA++ a été présentée au cours du

3ème Atelier Mélina qui a réuni près de 30 utilisateurs en mai 2005 au Croisic. Cette version est toujours en phase de développement.

7.C Intégration d'éléments finis de frontière dans la librairie MÉLINA++.

E. DARRIGRAND, D. MARTIN

Cet enrichissement de la librairie MÉLINA dans le cadre de sa version C++ , devrait offrir rapidement des possibilités de résolution d'équations intégrales. Avec la participation ultérieure de Xavier Antoine (Nancy), cette librairie pourrait à terme intégrer de nombreuses techniques de réduction des coûts de résolution.

7.D Calculs avec les éléments finis d'ordre élevé de MÉLINA.

V. BONNAILLIE-NOËL, M. COSTABEL, M. DAUGE, D. MARTIN, G. VIAL

Si le raffinement de maillage, lié à une connaissance qualitative *a priori* ou des estimations *a posteriori*, constitue un domaine désormais bien connu du calcul scientifique, la stratégie “p-version”, qui consiste à augmenter le degré d'approximation reste moins répandue. Pourtant cette approche donne des résultats remarquables pour un certain nombre de problèmes où une très grande précision est requise. L'équipe a pu mener à bien des expérimentations dans ce domaine grâce à la bibliothèque d'éléments finis MÉLINA. Des contributions dans le domaine du haut degré ont été apportées, permettant des approximations lagrangiennes aux points de Gauss-Lobatto jusqu'au degré 64.

Dans [169], le haut degré a été utilisé en combinaison avec un raffinement géométrique vers les coins et la méthode de régularisation à poids pour le calcul des modes propres de l'opérateur de Maxwell dans une cavité résonnante. Une précision de 10^{-8} a été obtenue avec 10 000 degrés de liberté dans un domaine en L. Voir, pour des problèmes “benchmark” et plus de résultats numériques [200].

Dans [154], le haut degré a été mis à profit pour un problème de perturbation singulière : les conditions d'impédance correspondant à la présence d'une couche diélectrique mince autour d'un coin.

Enfin, dans [52] l'utilisation du haut degré a permis la mise en évidence de résultats remarquables pour le calcul des modes propres de l'opérateur de Schrödinger avec champ magnétique. La nature hautement oscillatoire des vecteurs propres quand le paramètre semi-classique $\hbar$ tends vers 0, ainsi que l'entrelacement des valeurs propres en présence de symétries du domaine ont été mise en évidence pour la première fois numériquement.

Les calculs haut degré ont permis dans ces trois cas d'obtenir une précision quasi-inaccessible par raffinement de maillage en restant en bas degré (1 ou 2).

7.E Simulations numériques pour les partitions minimales avec le code MÉLINA.

V. BONNAILLIE-NOËL, G. VIAL, avec B. Helffer

Nous avons réalisé des simulations numériques sur le Laplacien avec condition de Dirichlet dans des domaines bornés afin d'analyser les relations entre les domaines nodaux des vecteurs

propres de la réalisation de Dirichlet du Laplacien et les partitions “optimales” en k ouverts. La partition D_i est dite “optimale” si le maximum sur les ouverts D_i de l’énergie fondamentale du Laplacien de Dirichlet réalise le minimum sur l’ensemble des partitions. Voir les pages `math/simulations/MinimalPartitions` dans le site de l’Antenne Bretagne de l’ENS Cachan.

7.F Résonances dues à un conducteur dans un champ radio-fréquence. Simulations numériques avec le code MÉLINA. P. BOISSOLES, M. COSTABEL, M. DAUGE

Les éléments finis de haut degré de la librairie MÉLINA permettent de modéliser numériquement le phénomène de réchauffement de fils métalliques dans des scans IRM (décrit dans le thème 6). Il s’agit de calculer les fréquences de résonance et les champs électromagnétiques associés d’un objet axisymétrique consistant d’un cylindre mince fortement conducteur partiellement plongé dans un fluide faiblement conducteur. Dans [193] nous avons décrit le comportement des résonances par rapport aux variations de plusieurs paramètres physiques, et nous avons trouvé que les basses fréquences de résonance peuvent être classifiées selon les modes TEM d’un modèle mathématique fortement simplifié dont les modes propres peuvent être donnés analytiquement.

7.G Intégration de la méthode multipôle rapide dans le code ASPIC du CERMICS. E. DARRIGRAND, avec E. Cancès (Cermics)

Les méthodes multipôles rapides peuvent être adaptées à diverses applications. Dans le cadre du projet IPSO, nous contribuons à l’application des méthodes multipôles rapides en simulation moléculaire. Une première étape consiste à utiliser une méthode multipôle rapide pour accélérer la résolution du problème de Coulomb. Il s’agira ensuite d’appliquer les méthodes multipôles rapides dans le cadre de la dynamique moléculaire. La formulation du problème pose une difficulté mathématique de continuité de la formulation des équations à l’interface entre les interactions proches et les interactions lointaines lors d’une approximation par méthodes multipôles rapides.

7.H fig4tex. Y. LAFRANCHE, D. MARTIN

Il s’agit d’une bibliothèque de macros (ou commandes) utilisables dans l’environnement $\text{\TeX}$ ou $\text{\LaTeX}$, permettant de créer des figures et de les annoter tout en conservant les mêmes polices de caractères que dans le document courant. La réalisation d’une figure consiste à élaborer une construction géométrique en 2D ou 3D à l’aide de primitives conçues de manière à pouvoir modifier aisément le dessin.

Plusieurs versions successives de cette bibliothèque ont été mises en ligne, ainsi que la documentation et le guide de référence associés, voir [203]. Depuis la dernière version rendue publique, des travaux visant à la manipulation d’objets géométriques de façon globale ont été entrepris. Par ailleurs, afin de s’affranchir du langage postscript actuellement utilisé, une réflexion sur la production directe d’un document PDF est en cours.

8 Systèmes de réaction-diffusion

8.A Systèmes avec estimation a priori L^1 . M. PIERRE

Nous avons progressé dans la compréhension de l'existence globale en temps pour des systèmes de réaction-diffusion qui préservent la positivité et dont les linéarités satisfont à des propriétés de type Lyapounov. Un cas typique est celui où la somme des linéarités est négative (ou plus généralement correctement majorée) : la masse totale des composants est alors contrôlée dans le temps. Ceci assure une estimation a priori dans L^1 des solutions qui est uniforme en temps. L'étude consiste à tirer partie au maximum de cette uniformité en temps.

Il est maintenant connu que ceci n'est pas suffisant pour assurer l'existence globale de solutions classiques.

On montre de façon très générale dans [142] que, si dans un système de réaction-diffusion préservant la positivité, les nonlinéarités sont bornées dans L^1 en les variables espace+temps, alors on obtient toujours au moins *une sur-solution globale* pour le système. Ceci est assez surprenant, car repose plus ou moins sur un principe du maximum alors qu'il s'agit de systèmes.

Si on ajoute une condition de Lyapounov, on obtient alors des solutions globales faibles, qui peuvent, en particulier, exploser dans L^∞ en temps fini, mais elles "poursuivent cependant leur vie".

Très bizarrement, il se trouve que les conditions de Lyapounov de type L^1 , assurent aussi une borne a priori L^2 sur les solutions. Ainsi, pour des systèmes quadratiques ayant cette structure, on a une borne a priori L^1 sur les non-linéarités et donc automatiquement existence globale de solutions faibles.

8.B Renormalisation dans les edps paraboliques. M. PIERRE, J. VOVELLE, avec L. Desvillettes, K. Fellner

L'estimation L^2 présentée au point précédent est très robuste et s'étend à des diffusions très générales, voire partiellement dégénérées. Ceci est étudié et exploité assez systématiquement dans [201]. On y considère des systèmes chimiques où la condition de Lyapounov vient d'une condition naturelle d'entropie : elle assure, non seulement une borne L^1 sur les nonlinéarités, mais même leur uniforme intégrabilité.

Une autre idée est présente dans [201] : dans certains cas plus critiques (dégénérescence des diffusions), on n'obtient même pas d'estimation L^1 sur les nonlinéarités. On doit alors encore affaiblir la notion de solution et coupler les idées ci-dessus avec la notion de solution renormalisée avec "defect-measure" introduite pour les équations cinétiques. Une alternative pour les solutions renormalisées d'équations paraboliques est analysée dans [211].

8.C Dispersion des polluants. M. PIERRE, R. TEXIER-PICARD

Un travail récent concerne l'étude d'un système de réaction-diffusion dégénéré modélisant la dispersion atmosphérique de polluants tels que l'ozone, produits par des réactions photochimiques. On s'intéresse à l'existence de solutions faibles et fortes pour un système dégénéré dans

le cas non-équi-diffusif. En comparaison des problèmes mentionnés dans les points précédents, deux nouvelles difficultés apparaissent : la diffusion n'a lieu que dans la direction verticale et la solution est perturbée par des termes de transport. Cette étude est en cours.

8.D Fronts de combustion avec convection. R. TEXIER-PICARD

On s'intéresse à la propagation de fronts de combustion dans des fluides. Le modèle mathématique consiste en un couplage d'une équation de réaction-diffusion comprenant un terme de réaction monostable avec les équations de Navier-Stokes incompressibles, dans un cylindre non borné. On montre l'existence de solutions ondes progressives en construisant un degré topologique ad-hoc pour une classe d'opérateurs propres vérifiant la propriété de Fredholm [184]. Ce travail étend les résultats déjà connus pour un terme de réaction bistable à un cadre plus réaliste, où la cinétique chimique suit la loi d'Arrhénius.

8.E Interfaces diffuses.

R. TEXIER-PICARD, avec I. Kostin, M. Marion, J. Pojman, V. Volpert

Lorsque deux fluides miscibles sont mis en contact, ils diffusent lentement l'un dans l'autre, en laissant subsister, pendant une période transitoire, une interface diffuse. L'étude de ces interfaces soulève des problèmes physiques et mathématiques intéressants, en particulier la modélisation de phénomènes capillaires. Nous avons conjecturé que ces phénomènes pourraient être à l'origine de mouvements de convection dans les fluides, observables seulement dans des conditions de microgravité ou de microfluidique. Leur étude mathématique conduit à un couplage des équations de Navier-Stokes incluant un terme spécifique de capillarité (Korteweg), avec une équation de diffusion [123]. Dans un premier temps, nous considérons une diffusion classique, et nous montrons l'existence globale et l'unicité d'une solution pour le système considéré, en dimension 2. Ce travail a comporté une part de simulations numériques et a fait l'objet d'une collaboration avec l'équipe de John Pojman, University of Southern Mississippi, et a obtenu le soutien de la NASA (programme Miscible Fluids in Microgravity). Les expériences réalisées à la Station Spatiale Internationale en mars 2004 n'ont pas confirmé la conjecture.

9 Schémas numériques pour les problèmes d'évolution

9.A Analyse numérique des problèmes d'évolution.

M. CROUZEIX, M. PIERRE et collaborateurs.

9.A.a) Méthodes explicites-implicites. M. CROUZEIX, avec G. Akrivis (Ioannina), N. Bakaeu (Moscou), V. Thomée (Chalmers). L'article [1] est un prolongement des travaux précédents sur l'étude des méthodes explicites-implicites. Dans [96] et [10] on s'intéresse à l'analyse de l'erreur, ainsi qu'à la stabilité des discrétisations éléments finis, mesurées en norme L^∞ et sans l'hypothèse habituelle de quasi-uniformité du maillage. Cette hypothèse, trop restrictive, est incompatible avec les raffinements de la triangulation.

9.A.b) Équations d'évolution abstraites. M. PIERRE, M. RIHANI.

On a mis en évidence dans [143] une surprenante perte de consistance dans certaines discrétisations d'équations d'évolution abstraites lorsqu'on passe d'un pas constant à un pas légèrement variable.

9.B Lois de conservation. J. VOVELLE et collaborateurs.**9.B.a) Ordre de convergence de l'approximation par la méthode Volume Fini.** J. VOVELLE avec B. Merlet (U. Paris 13).

Une loi de conservation est une équation sous forme divergentielle : pour cette raison, il est naturel de chercher à calculer une approximation numérique de la solution par l'intermédiaire d'une méthode Volume Fini. De telles méthodes sont très utilisées dans la pratique et ont été l'objet d'une analyse mathématique intense (années 90). En dépit de tous ces travaux, un résultat aussi fondamental qu'une estimation d'erreur optimale en multi-d reste à prouver.

Le résultat que l'on voudrait prouver est le suivant : montrer que l'estimation d'erreur en norme L^p pour un schéma Volume Fini appliqué à une loi de conservation scalaire en dimension $d \geq 2$ sur un maillage non structuré de pas h (avec donnée initiale de régularité $W^{1,p} \cap L^\infty$ si $p > 1$, $BV \cap L^\infty$ si $p = 1$) est d'ordre $h^{1/2}$.

On a montré [209] ce résultat dans le cas d'une équation *linéaire* lorsque $p = 1$. L'objectif est de passer aux équations non-linéaires.

9.B.b) Étude d'un modèle de lubrification. J. VOVELLE avec S. Martin (U. Paris 12).

Un modèle de lubrification des films minces nous a amené à étudier le comportement en temps grand de la solution entropique d'une loi de conservation scalaire en présence de conditions aux limites : on montre que si les conditions aux limites sont "stabilisantes", alors la solution entropique converge vers une solution stationnaire, qu'on peut caractériser dans certain cas [208]. Un raffinement dans l'étape de modélisation nous conduit à l'étude d'équations de divergence non-linéaires posées sur un domaine borné et à leur approximation numérique.

9.B.c) Couplage par la vitesse de lois de conservation. J. VOVELLE avec É. Tillier (IFP) et R. Eymard (U. Marne-la-Vallée). On s'intéresse à un modèle (simplifié) d'évolution de dioxyde de carbone dans de l'eau au sein d'un milieu poreux. Le système d'équation que l'on obtient est un système de deux lois de conservations scalaires couplées par la vitesse : il présente l'intérêt d'avoir de meilleures propriétés qu'un pur système 2×2 de lois de conservation, sans être scalaire. L'existence d'une solution, d'un schéma numérique convergent ont déjà été prouvés. On étudie la question de l'unicité pour le Problème de Cauchy et pour le Problème de Cauchy-Dirichlet.

9.B.d) Lois de conservation fractionnaires. J. VOVELLE avec N. Alibaud et J. Droniou (U. Montpellier). On s'intéresse à une loi de conservation scalaire d'ordre un perturbée par un terme de dérivation fractionnaire d'ordre λ . On avait montré avec J. Droniou et T. Gallouët que l'équation a un effet régularisant lorsque $\lambda \in (1, 2]$ (pour $\lambda = 2$ on retrouve une équation

parabolique scalaire). Lorsque $\lambda \in (0, 1]$, cet effet régularisant n'est pas attendu et N. Alibaud a donc, dans ce cadre, développé une théorie d'existence, unicité, stabilité (par rapport aux données et par approximation) de solution faible entropique. On a ensuite montré qu'il y a bel et bien création de chocs (qui perdurent) par l'équation et, plus précisément qu'il y a un effet de seuil, des chocs se développant ou non selon la "taille" de la donnée initiale [185].

9.B.e) Loi de conservation stochastique. A. DEBUSSCHE, J. VOVELLE.

Les lois de conservation du second ordre avec terme de forçage stochastique ont fait l'objet de nombreux travaux. On s'intéresse aux lois de conservation du premier ordre avec terme de forçage stochastique. Il s'agit de définir une bonne notion de solution, de comprendre ses propriétés élémentaires et ses liens avec l'approximation visqueuse stochastique .

10 Calcul fonctionnel

10.A Analyse fonctionnelle et théorie des opérateurs. M. CROUZEIX

L'essentiel de ces recherches a été consacré au développement d'un calcul fonctionnel, basé sur l'image numérique de l'opérateur considéré. Le point de départ est un article (1999) de Bernard et François Delyon, qui contient une inégalité nouvelle pour des fonctions d'opérateurs bornés. Dans [100], Michel CROUZEIX et Bernard Delyon ont montré qu'elle se généralisait aux opérateurs non bornés, du type sectoriel ou bande ; avec Catalin Badea [9], ils ont aussi obtenu des bornes pour d'autres domaines convexes. L'obtention d'une estimation, pour tout opérateur à image numérique contenue dans une parabole [98], a fourni des résultats d'existence et d'unicité nouveaux et optimaux, pour les équations du second ordre (du type des ondes) lorsque l'opérateur n'est pas auto-adjoint. Le résultat majeur se trouve dans [198], où l'inégalité est obtenue avec une constante universelle. Cela permet de développer facilement, et cela sans hypothèse de normalité, un calcul fonctionnel pour tout opérateur dont l'image numérique est contenue dans un domaine convexe arbitraire du plan complexe. Il en découle de nombreuses applications, tant en théorie des opérateurs, qu'en edp, algèbre linéaire numérique, ou analyse numérique. De nombreuses questions restent ouvertes.

11 Optimisation de forme

Parmi les contributions sur ce thème, mentionnons d'abord la parution du livre [223]. Les travaux de l'équipe ont par ailleurs porté sur la régularité de formes optimales, la structure des dérivées de formes, en particulier autour de formes peu régulières, ainsi que sur l'analyse de la positivité des dérivées secondes de forme pour l'étude de la stabilité de formes critiques.

11.A Régularité de formes optimales. T. BRIANÇON, N. LANDAIS, M. PIERRE

La problématique est la suivante. Dans beaucoup de situations, l'existence d'une forme optimale est obtenue par des outils de topologie et d'analyse fonctionnelle qui fournissent des

formes optimales qui sont très peu régulières : des ouverts sans régularité, parfois même seulement des “quasi-ouverts” ou des ensembles mesurables. Dans nombre de ces situations, on s’attend cependant à ce que les formes optimales soient de “bons” ouverts, voire avec un bord analytique si les données le permettent.

C’est en général une tâche difficile que de montrer un minimum de régularité sur ces formes optimales : que, par exemple, ce sont des ouverts et que leur bord est lipschitzien. Une fois cela fait, on peut alors écrire les équations d’optimalité en un sens correct et les utiliser pour monter en régularité à l’aide de résultats, non triviaux, mais mieux connus, sur les systèmes d’équations aux dérivées partielles.

L’objet de notre étude est de développer des outils et des méthodes pour progresser dans cette toute première étape : prouver un peu de régularité à partir de rien.

Dans la thèse [225], le problème consistant à minimiser l’énergie de Dirichlet avec contrainte de volume est examiné. Des résultats très satisfaisants sont obtenus dans le cas où la solution de l’équation d’état est positive : la régularité complète de la frontière est prouvée en dimension deux. La régularité modulo un petit ensemble singulier est prouvée en toute dimension.

La méthode peut être adaptée à la minimisation de la première valeur propre du laplacien avec contrainte de volume, grâce à la positivité de la première fonction propre (voir [195]).

Le cas où la fonction d’état change de signe est beaucoup plus délicat. On s’attend à des difficultés là où elle change de signe près du bord. Il est montré dans [56] que, pour le même problème que ci-dessus, associé à l’énergie de Dirichlet, la fonction d’état est localement lipschitzienne. C’est une étape importante vers la compréhension de la régularité de la frontière. En dimension deux, on s’attend par exemple à ce qu’elle soit régulière partout sauf en un nombre fini de points de rebroussement.

Pour traduire l’existence d’une énergie de tension superficielle, il apparaît souvent un terme proportionnel au périmètre dans l’énergie totale à minimiser pour un système. Ce terme est régularisant et se traduit par l’apparition de la courbure moyenne du bord dans les conditions d’optimalité. Cependant, son ajout à l’énergie de Dirichlet rend l’analyse mathématique de l’optimisation difficile car les techniques pour gérer les termes séparément ne sont pas de même nature. Il s’agit donc de trouver des méthodes qui englobent les deux types de termes. Ceci est fait dans [125] pour une équation d’état positive : la lipschitzianité de la fonction d’état est, en particulier, prouvée. Dans le cas de changement de signe, l’hölderianité de la fonction d’état est démontrée dans [204].

11.B Dérivées de formes : Structure - Positivité de la dérivée seconde. J. LAMBOLEY, M. PIERRE, M. RIHANI

Nous avons obtenu un résultat très général de structure pour les dérivées secondes de formes autour de formes régulières dans [139]. Nous avons également montré dans des travaux antérieurs que la positivité de la dérivée seconde de forme implique au moins l’existence d’un minimum strict par rapport à des perturbations régulières (malgré une difficulté due à une coercivité par rapport à la mauvaise norme).

Comme il est montré dans [120], cette positivité n’implique pas l’existence d’un minimum

strict par rapport à toute perturbation de la frontière, même si celle-ci est régulière.

L'étude proprement dite de la positivité de la dérivée seconde de forme n'est en général pas très facile : c'est ce que nous faisons dans les deux contributions [119] et [120]. Nous y considérons des modèles bidimensionnels issus de l'étude de frontières libres air-métal liquide dans un environnement électromagnétique. La positivité correspond alors à une certaine stabilité de cette frontière libre. La situation est tout à fait différente selon que le métal liquide est confiné (formage intérieur) ou pas (formage extérieur). Dans le 1er cas, on montre que, un peu de tension superficielle contribue fortement à la stabilité. Dans le second cas, même avec un peu de tension superficielle, on peut obtenir des instabilités surprenantes : ainsi, des formes critiques, analytiquement voisines de cercles, peuvent être instables. Un autre intérêt de [119] est une méthode assez systématique pour réduire l'étude de la stabilité avec contrainte à une simple question de positivité en dimension finie.

Une autre question naturelle est de comprendre ce qui se passe lorsque les formes en jeu ne sont pas régulières. Nous obtenons dans [124], un théorème de structure de la dérivée première de forme autour d'une forme supposée seulement de périmètre fini : essentiellement, comme dans le théorème de Hadamard classique autour de formes régulières, on peut encore dire qu'elle est une forme linéaire continue de la composante normale du déplacement sur le bord de l'ouvert. Ceci peut être exprimé de façon faible à l'aide des outils de la théorie géométrique de la mesure.

Cette structure permet alors de parler de positivité de la dérivée première et d'étudier dans quelle mesure ceci implique sa continuité par rapport à la norme uniforme. Cette implication s'avère vraie lorsque le domaine est lipschitzien (ce qui contient le cas important des domaines convexes). On obtient alors des représentations de ces dérivées de forme en termes de mesures de Radon positives (voir [124]).

12 Collaboration mathématique/mécatronique

Plusieurs études communes sont en cours entre l'IRMAR et le laboratoire SATIE (UMR 8029 du CNRS/CNAM) rattaché au département de mécatronique sur le site de Ker Lann de l'ENS Cachan. En voici trois.

12.A Optimisation de distribution dans des électroaimants.

P. BOISSELES, M. PIERRE, avec H. BenAhmed, B. Multon

Un électroaimant est composé de trois 'matériaux' : fer, cuivre, air. On cherche généralement à adapter au mieux la géométrie de l'ensemble pour optimiser telle ou telle de ses fonctionnalités. L'idée est ici d'automatiser cette recherche de géométrie optimale en utilisant les techniques d'optimisation mathématique, et, plus particulièrement les deux idées suivantes :

- Ne se donner aucune contrainte a priori sur la répartition respective de chacun des matériaux (indépendamment donc de toute contrainte de production effective de l'électroaimant) ; on cherche ainsi trois fonctions caractéristiques.
- Utiliser des algorithmes génétiques pour, entre autres, éviter tout calcul de gradient.

Des résultats tout à fait encourageants sont présentés dans [164], [163].

12.B Modélisation de la capture de cellules par diélectrophorèse dans les biopuces. M. PIERRE, G. VIAL, avec B. Le Pioufle

Des champs électriques non constants peuvent rompre l'équilibre électrique dans la répartition des ions à la surface d'une cellule (non conductrice) et créer ainsi des forces électriques qui font déplacer cette cellule. C'est essentiellement le principe de la *diélectrophorèse* et on peut l'utiliser pour trier des cellules en les déplaçant sélectivement par ce procédé vers des endroits prédéterminés. Ceci est utilisé dans des biopuces formées d'un réseau d'électrodes destiné à capter ces cellules au centre de chaque matrice de base. On s'intéresse alors à la *forme* des électrodes qui permette une *capture la plus rapide possible*.

Il est assez facile de modéliser cette question de forme optimale : le problème est décomposé en cherchant d'abord le champ qui produise une attraction la plus rapide possible des cellules vers un point choisi. Ceci conduit à un joli problème d'équation intégrale sur un domaine borné (opérateur pseudo-différentiel). On essaie ensuite d'ajuster numériquement une forme optimale par moindres carrés. Ce travail est en cours de rédaction.

12.C Microfluidique. R. TEXIER-PICARD avec M.C. Jullien

Dans le cadre d'un projet de partenariat avec l'équipe Biomis (biomicrosystèmes) du laboratoire SATIE (UMR 8029 du CNRS/CNAM), des discussions ont été engagées sur la modélisation d'un micromélangeur dit chaotique, qui utilise des fluctuations de pression pour mélanger deux fluides dans des microtubes.

13 Homogénéisation

L'homogénéisation des équations aux dérivées partielles connaît un grand essor depuis une quarantaine d'années. Elle consiste à déterminer le comportement asymptotique des équations (notamment de la conduction et de l'élasticité) gouvernant une microstructure fortement hétérogène (par exemple des milieux fibrés), lorsque l'échelle des hétérogénéités tend vers zéro. Entre autres, M. BRIANE, Y. CAPDEBOSCQ (parti en 2004) et M. CAMAR-EDDINE (arrivé en 2005) ont étudié des problèmes d'homogénéisation à fort contraste (faible et forte conductivité en conduction, et forte raideur en élasticité), et évalué des coefficients homogénéisés pour certaines microstructures (échiquiers).

13.A Homogénéisation à fort contraste en dimension 3. M. BRIANE

D'après les travaux de Khruslov (1979-81), on sait que les régions de forte ou de faible conductivité dans une microstructure très hétérogène, peuvent induire des comportements asymptotiques dégénérés tels que des effets non locaux ou des termes de couplage. L'article [57] donne des exemples d'effets non locaux pour des matériaux périodiques renforcés par des fibres unidirectionnelles très conductrices. Ces résultats ont été étendus dans [58] au système de

Stokes pour un problème à forte viscosité qui induit une loi de Brinkman non locale. Avec A. Braides, nous avons étudié dans [54] l'homogénéisation d'un problème de conduction non linéaire avec des conducteurs connexes séparés par des couches minces faiblement conductrices, qui conduit à une énergie limite à phases multiples, comportant un terme d'interaction d'ordre 0.

13.B Homogénéisation à fort contraste en dimension supérieure ou égale à 3. M. CAMAR-EDDINE

Il est connu que la fonctionnelle limite d'une suite de fonctionnelles fortement locales de type diffusion peut contenir un terme non local mais aussi un terme étrange. Se posait alors la question d'identifier toutes les limites possibles. En collaboration avec Pierre Seppecher, nous avons déterminé la fermeture des fonctionnelles de type diffusion en montrant que celle-ci coïncide avec l'ensemble de toutes les formes de Dirichlet. Nous avons ensuite établi que la fermeture des fonctionnelles de type élasticité linéaire coïncide avec l'ensemble de toutes les formes quadratiques positives, semi-continues inférieurement et objectives en ce sens qu'elles s'annulent sur les mouvements rigides. Ce second résultat est loin d'être une simple généralisation du premier. En collaboration avec Graeme W. Milton nous avons montré [73], que ces résultats pouvaient être transposés au cas de fonctionnelles de type thermo-électrique.

13.C Homogénéisation à fort contraste en dimension 2. M. BRIANE

Contrairement à la dimension 3, l'homogénéisation à forte conductivité n'entraîne pas d'effets non locaux en dimension 2. On a ainsi obtenu un premier résultat [59] de compacité dans le cas périodique pour une suite de conductivités équi-coercive et bornée dans L^1 . Avec J. Casado Díaz, nous avons étendu dans [61] ce résultat au cas général en montrant que la limite des énergies de diffusion associées reste fortement locale. Ces théorèmes de compacité reposent sur des généralisations bidimensionnelles du lemme div-rot de Murat-Tartar, pour des suites bornées dans l'espace L^2 pondéré par la forte conductivité.

13.D Propriétés qualitatives en homogénéisation. M. BRIANE, Y. CAPDEBOSCQ

Il y a très peu de formules explicites pour les coefficients homogénéisés de composites à N phases en conduction. On doit se contenter essentiellement des bornes obtenues par Hashin-Shtrikman dans les années 60. Avec V. Nesi nous avons précisé dans [65] des régimes explicites dans lesquels ces bornes ne peuvent être atteintes par des laminés lorsque $N \geq 3$. Ce résultat repose sur le fait que le champ électrique local dans un matériau laminé a un déterminant positif en toute dimension. Avec G. Milton et V. Nesi, nous avons montré dans [63] que ce n'est pas le cas pour un matériau périodique quelconque en dimension 3. En revanche, avec Y. Capdeboscq nous avons obtenu dans [60] des formules simples approchées à l'ordre 2 (en faible contraste) du déterminant de la matrice homogénéisée pour des structures en échiquier à 4 phases anisotropes.

14 Contrôle de systèmes gouvernés par des Edp

14.A Étude des méthodes de POD. T. HENRI, J.P. YVON

Ce travail, qui a donné lieu à la thèse de Thibault Henri, a porté sur l'analyse des méthodes de POD (Proper Orthogonal Decomposition) pour le contrôle de systèmes gouvernés par des EDP [227]. Ces méthodes sont particulièrement attractives pour le contrôle puisque qu'elles permettent de réduire très sensiblement la dimension du modèle. Le travail de thèse a permis de montrer des résultats de stabilité de l'approximation par rapport aux perturbations représentées par l'action du contrôle [176]. Enfin ces méthodes ont été numériquement mises en œuvre sur des problèmes très non linéaires (équations de type Korteweg – De Vries).

14.B Contrôle optimal et robuste. A. BELMILOUDI

Il s'agit de développer des méthodes de contrôle optimal et robuste pour des problèmes réalistes, afin soit d'analyser l'influence des perturbations (bruits, impuretés, ...) sur les modèles, soit de permettre l'identification de paramètres intervenant dans les modèles, dans le cadre de domaines très variés (physique, océanique, biologique, médical). L'influence de ces perturbations sont à ce jour peu ou mal connues dans de nombreux domaines car les équations à résoudre sont extrêmement complexes. Pourtant, la connaissance de ces perturbations est primordial pour améliorer les applications concrètes qui découlent de ces études. De même, certains paramètres peuvent influencer considérablement le comportement de matériaux ou modifier des phénomènes à caractère bio-économique, biologique ou médical ; leur connaissance est donc nécessaire à la compréhension des différents processus pouvant intervenir dans ces problèmes.

14.B.a) Ginzburg-Landau en supraconductivité et mouvement des vortex. A. BELMILOUDI. Dans ce travail [30], on s'intéresse aux supraconducteurs de type-II dans le cadre d'un film mince en tenant compte de l'épaisseur du film. La phase de transition supraconductrice est modélisée par des équations non linéaires de type Ginzburg-Landau avec des conditions aux limites de type Robin. L'objectif est d'étudier l'influence des perturbations des données sur la densité relative de paires d'électrons. De telles fluctuations ont l'effet d'empêcher la capacité du matériau à devenir supraconducteur. Pour étudier ces fluctuations, on a développé une technique de contrôle qui permet de maîtriser l'influence de ces perturbations sur le comportement supraconducteur du matériau. Le problème a été formulé et résolu dans différentes situations.

14.B.b) Modèle de champ de phase et solidification A. BELMILOUDI, J.P. YVON. Les modèles de champ de phase sont devenus un outil important pour simuler, lors de la solidification d'alliage, la formation de dendrites d'origine solutale. Le but de notre travail consiste à prendre en compte des erreurs de mesure en ramenant le problème à l'étude du cas le plus défavorable, ce qui conduit très naturellement à un problème de théorie des jeux pour un système gouverné par des équations aux dérivées partielles non linéaires. En effet pour des solidifications longues, une légère fluctuation causée par l'introduction de bruits, rend l'interface solide/liquide instable. Le but est de stabiliser cette interface tout en tenant compte des bruits et de leurs perturbations. Le problème a été traité dans le cas isotherme [23] et non isotherme [33, 161]. Les

équations du modèle ont été introduites et analysées et les problèmes de contrôle ont été formulés et résolus dans différentes situations y compris le cas des assimilations de données.

14.B.c) Déshydratation d'une plaque de gypse exposée au feu. A. BELMILOUDI, G. Le Meur. L'objet de ce travail [31] est de modéliser l'échauffement et la déshydratation d'une plaque mince de gypse exposée au feu. Le problème que nous avons traité est un problème parabolique avec des conditions aux limites non linéaires. L'existence et l'unicité de la solution ont été obtenues et des simulations numériques pour la validation du modèle, dans un cas réaliste, ont été développées.

14.B.d) Modèles bilinéaires et problème de fission. A. BELMILOUDI. Dans ce travail on s'intéresse aux réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides. La fission nucléaire est modélisée par un système d'équations paraboliques bilinéaires, couplé avec la rétroaction de la température. L'objectif est d'étudier l'influence des fluctuations des données du problème sur les flux de neutrons. Le problème se traduit par le développement d'une technique de "Min-Max contrôle bilinéaire". Le problème a été formulé, généralisé et résolu dans différentes situations [27].

14.B.e) Modèles de transport thermique et tissus biologiques. A. BELMILOUDI. Les travaux [26, 29, 160] concernent le transport de l'énergie thermique dans les tissus vivants, avec des applications en biologie et en médecine. Les équations traitées sont des systèmes paraboliques non linéaires tridimensionnels avec des conditions aux limites également non linéaires de type radiatives (ceci nous a amené à travailler avec des espaces seulement de Banach). On a tout d'abord introduit les modèles mathématiques (généralisant différents modèles existants). Puis on a analysé le comportement de ces équations. Ensuite les problèmes de contrôle ont été formulés, afin de contrôler la température "en ligne" donnée par des mesures radiométriques ; ces problèmes ont été résolus et des algorithmes pour leur mise en œuvre numérique ont été donnés.

14.B.f) Équations paraboliques non linéaires avec retard. A. BELMILOUDI. Les équations et les problèmes de contrôle avec retard sont reconnus en tant que modèles importants pour décrire des phénomènes réels. De tels systèmes apparaissent dans le contrôle du procédé de diffusion, dans lesquels des signaux de retour temps-retardés sont présents dans leurs fonctions d'état ou dans leurs conditions aux limites. Dans ces travaux [21, 20, 22, 158], on s'est intéressé à des problèmes de contrôle robuste associés à une classe de systèmes paraboliques non linéaires avec termes de retard multiples et variables. La nature des termes de retard rend l'étude du problème assez délicate. Les conditions de stabilité et la différentiabilité de l'opérateur solution ont été étudiées. Un problème adjoint (assez original, à cause des termes de retard) a été introduit et les conditions d'optimalité ont été obtenues.

14.B.g) Dynamique de population. A. BELMILOUDI. Le but principal de ces études [28, 24, 25] est de développer des outils mathématiques bien adaptés au programme de la

gestion des faunes en considérant l'aspect biologique des populations. On a donc développé des méthodes d'estimation de paramètres qui incorpore la dispersion dynamique des populations dans la fonction coût d'optimisation économique. L'évolution de la nuisance de la population biologique est modélisée par l'équation diffusive parabolique non linéaire de type Volterra-Lotka avec des termes de retard multiples et variables. De plus, comme l'environnement est hétérogène, la diffusion peut être dégénérée dans certaines régions, donc on suppose que l'opérateur de diffusion est dégénéré. L'utilisation des solutions de viscosité et la construction de suites de solutions décroissantes et convergentes, ont été nécessaires pour analyser et résoudre ces problèmes.

14.B.h) Modèle Shallow-water. A. BELMILOUDI, F. MAHÉ. Dans ce travail [32] nous avons développé une méthode numérique fine, dont l'ordre de convergence est 1 en temps et $r + 1 + \ln(r)$ en espace, avec r l'ordre des éléments finis utilisés, pour résoudre des équations de type shallow-Water qui sont non linéaires avec une topographie non triviale. Nous avons montré que le schéma est convergent et stable. Nous étudions actuellement des applications de ces modèles à des situations réelles : dans la Manche ainsi qu'entre la Corse et le continent.

14.B.i) Modélisation de courants océaniques et atmosphériques. A. BELMILOUDI. Le but de ces travaux [18, 19, 159, 157] est de développer des méthodes permettant, à partir des données altimétriques de surface, de restituer les phénomènes profonds. Les équations sont de type Navier-Stokes en tenant compte de l'approximation hydrostatique avec viscosité verticale variable et de l'hypothèse de Boussinesq avec de plus un couplage océan-atmosphère. Les conditions aux limites sont non linéaires. Les problèmes ont été formulés et résolus dans différentes situations ; des méthodes de résolution ont été proposées et la convergence des algorithmes a été donnée.

14.C Utilisation des méthodes de découplage en analyse numérique.
J.P. YVON, avec J. Henry

Un travail en cours avec Jacques Henry (INRIA-Bordeaux) porte sur la recherche de techniques de "zoom de calcul", qui consistent – pour une EDP elliptique par exemple – à découper le domaine en deux parties dont l'une représente la zone d'intérêt, ou la zone sur laquelle on peut agir par un contrôle. La méthode proposée repose sur une approche par plongement invariant, le paramètre étant le facteur d'homothétie entre la zone d'intérêt et le domaine complet.

15 Théorie de l'approximation

15.A Quasi-interpolants polynomiaux et splines.
M.M DERRIENNIC, P. SABLONNIÈRE.

15.A.a) Quasi-interpolants polynomiaux Les quasi-interpolants polynomiaux, généralisant de diverses manières les opérateurs classiques de Bernstein, sont un thème de recherche ancien de l'équipe d'approximation de Rennes. Une synthèse en est donnée

par P. SABLONNIÈRE dans [182]. M.M. DERRIENNIC a récemment étendu dans [109] aux opérateurs de Bernstein-Durrmeyer-Jacobi les travaux de G.M. Phillips et de ses collaborateurs sur les q -extensions des opérateurs de Bernstein classiques, démontrant en particulier que certaines q -extensions des polynômes orthogonaux de Jacobi sont les fonctions propres de ces opérateurs.

15.A.b) B-splines à deux variables Les quasi-interpolants splines à une et deux variables sont un des thèmes de recherche principaux de P. SABLONNIÈRE et de ses collaborateurs, D. Barrera et M.J. Ibañez, de l'université de Grenade et D. Sbibih, A. Tijini, A. Mazroui ainsi que deux thésards (2002) E.B. Ameur et O. Nouisser, de l'université d'Oujda. Ces opérateurs d'approximation sont définis à l'aide de B-splines (i.e. de fonctions polynomiales par triangles, à support borné). En particulier les articles [133, 138] sont consacrés à la construction et à l'étude de B-splines sur des réseaux uniformes du plan à trois et quatre directions.

15.A.c) Quasi-interpolants splines presque optimaux Les articles publiés [15, 177] ou soumis [187, 188], en collaboration avec les équipes de Grenade et d'Oujda, étendent des résultats de la thèse de M.J. Ibañez (Grenade 2003) qui traite des quasi-interpolants presque optimaux, c'est-à-dire dont la norme infinie a un majorant optimal en un certain sens. Selon que l'on travaille sur la droite réelle ou dans le plan, et sur des partitions uniformes ou non, on obtient des résultats plus ou moins généraux sur quelques familles de quasi-interpolants. Ils sont particulièrement intéressants en dimension 2, où l'on peut obtenir par cette méthode une diminution significative des normes des opérateurs.

15.A.d) Quasi-interpolants splines quadratiques Les splines quadratiques de classe C^1 à deux variables sont celles qui se prêtent le mieux à des extensions des box-splines classiques et des quasi-interpolants (QIs) associés à des triangulations non uniformes. En collaboration avec C. Dagnino (Turin) et C. Manni (Rome), P. SABLONNIÈRE a étudié les propriétés de quelques QIs sur des triangulations de type criss-cross (réseau rectangulaire avec diagonales) et Powell-Sabin (triangles décomposés en six sous-triangles) : c'est l'objet des articles [132, 199]. D'autres propriétés sont étudiées dans [148, 180, 182, 183]. En particulier, on montre que plusieurs de ces QIs sont uniformément bornés indépendamment de la partition non-uniforme choisie.

15.A.e) Applications des QIs En collaboration avec F. Foucher, de l'École Centrale de Nantes, P. SABLONNIÈRE développe des applications des QIs splines à une et plusieurs variables, à l'approximation de dérivées et de dérivées partielles de fonctions. L'article [202] étudie en particulier l'approximation de points critiques de surfaces à l'aide de QIs splines quadratiques sur une subdivision de type criss-cross (*cf* point ci-dessus). Une autre application en cours est celle de la construction de méthodes pseudo-spectrales pour la résolution de problèmes différentiels ou aux dérivées partielles. Enfin, avec C. Dagnino, P. Lamberti et V. Demichelis (Turin), P. SABLONNIÈRE étudie des formules de quadratures obtenues par intégration de QIs splines [150, 215].

15.B Schémas de subdivisions. J.L. MERRIEN, P. SABLONNIÈRE.

Les schémas de subdivision en approximation constituent depuis une quinzaine d'années un thème de recherche en plein développement, en particulier sous l'influence des ondelettes (I. Daubechies). Depuis son article fondateur de 1992 sur les schémas de subdivision pour l'interpolation d'Hermite, J.L. MERRIEN continue à contribuer, en collaboration avec S. Dubuc (Montréal), T. Lyche (Oslo), et B. Han (Edmonton), à l'étude de schémas de subdivision généraux basés sur ce type d'interpolation, à la fois sur la droite réelle [113] ou dans le plan [112]. Dans [149], P. SABLONNIÈRE définit la notion de base de type Bernstein et d'algorithme de "corner cutting" pour les courbes engendrées par les schémas de Merrien, et dans [181] il étend ces notions aux surfaces produits tensoriels. Les schémas de subdivision d'Hermite s'avèrent fondamentaux dans la construction d'interpolants préservant la forme des données (section suivante).

15.C Approximants préservant la forme des données. M.M DERRIENNIC, J.L. MERRIEN, P. SABLONNIÈRE.

Les schémas de subdivision d'Hermite introduits par J.L. MERRIEN en 1992 lui ont permis de construire, en collaboration avec P. SABLONNIÈRE, des interpolants simples préservant la monotonie ou la convexité de données quelconques [135] sur la droite réelle. Ces travaux ont été précisés et généralisés récemment par J.L. MERRIEN et T. Lyche dans [130]. En collaboration avec F. Pelosi (Sienne), P. SABLONNIÈRE a étudié également des schémas de subdivision d'Hermite [210] basés sur des GP-splines introduites auparavant par L. Gori et F. Pitolli (Rome). A partir de quasi-interpolants polynomiaux, M.M. DERRIENNIC a également construit des schémas d'approximation [108] préservant la forme des courbes approchées. Les recherches actuelles consistent à étendre ces schémas aux données en dimension $d \geq 2$.

15.D Approximants sur la sphère. P. SABLONNIÈRE.

En collaboration avec D. Sbibi, E.B. Ameer et O. Nouisser (Oujda), P. SABLONNIÈRE a étudié des quasi-interpolants splines permettant d'approcher des données définies sur la sphère [137], généralisant ainsi des travaux antérieurs de T. Lyche et L.L. Schumaker. De même, ces auteurs ont construit des analyses multirésolution (ondelettes) [6] sur la sphère.

15.E Approximants d'Hermite-Padé de l'exponentielle. P. SABLONNIÈRE.

L'approximation de l'exponentielle par des fonctions rationnelles ou non est un thème classique de la théorie de l'approximation, qui a surtout des applications dans l'approximation de l'exponentielle d'une matrice, d'où découlent plusieurs méthodes de résolution d'équations différentielles ou aux dérivées partielles. P. SABLONNIÈRE a étendu récemment aux B-splines [147, 216] le lien entre les polynômes de Bernstein et les approximants de Padé de l'exponentielle. Ceci lui permet de donner deux nouveaux algorithmes généraux de calcul des approximants d'Hermite-Padé (AHP) d'ordre quelconque de l'exponentielle, introduits par Hermite à

la fin du 19-ème siècle. Il reste à tester les nouveaux approximants de l'exponentielle ainsi introduits, en particulier sur les matrices.

16 Théorèmes de prolongement

16.A Fonctions Lipschitziennes absolument minimisantes dans des espaces métriques métriquement convexes. E. LE GRUYER

Nos développements récents sur ce thème ont abouti aux résultats suivants, cf [126] : Une preuve de l'existence d'une AMLE par passage à la limite sur des solutions d'équations fonctionnelles locales (prolongements harmonieux), et une étude des propriétés de stabilité des prolongements associés.

Sur le même sujet, nous construisons des méthodes numériques stables pour approcher la solution de viscosité de l'équation $\Delta_\infty u = 0$ avec conditions de Dirichlet. Une des difficultés est que les solutions approchées construites (par exemple) sur une grille régulière convergent vers un prolongement optimalement stable relativement à la distance géodésique associée à cette grille, phénomène qui ne se produit pas lors de la discrétisation associée à l'équation $\Delta_2 u = 0$.

Ce type de méthodes s'adapte très bien à la recherche de la solution de viscosité de l'équation eikonale $\|\nabla u\|_2 = n$ en utilisant les solutions d'équations fonctionnelles locales différentes.

Deux de nos orientations de recherche sont premièrement de trouver des méthodes constructives et stables pour obtenir des prolongements Lipschitz optimaux pour les fonctions de $\mathbb{R}^n$ dans $\mathbb{R}^n$ ($n > 1$) et deuxièmement de construire des prolongements et des déformations de métriques.

16.B Prolongements par fonctions de classe C^m . E. LE GRUYER

16.B.a) Prolongements Lipschitz optimaux de champs tayloriens par fonctions de classe C^m . Dans [206], nous traitons de l'existence d'un prolongement optimalement Lipschitz pour un problème d'extension de type Whitney sur les champs tayloriens d'ordre un. La première difficulté a été de trouver la “bonne” constante de Lipschitz associée à un champ taylorien défini sur un compact de $\mathbb{R}^n$. A notre connaissance, ce résultat nouveau ouvre la porte à l'étude (existence et unicité) sur les fonctions 1-Lipschitziennes absolument minimisantes, notion qui “généralise” peut-être la notion de solution de viscosité pour les opérateurs différentiels d'ordre supérieur à deux.

16.B.b) Prolongements de fonctions par fonctions de classe C^m . Des progrès importants (C. Feffermann, P. Shvartsman, D. Milman) ont été faits récemment sur ce thème (conjecture de H. Whitney) initié à Rennes par G. Gleaser. Nos résultats énoncés dans [206] permettent dans le cas $m = 1$ de résoudre ce problème de prolongement de manière Lipschitz-optimale. Cette optimalité exige d'explorer simultanément l'ensemble des données contrairement au résultat des auteurs précités qui exige seulement de considérer les sous-ensembles ayant un nombre fini d'éléments (nombre indépendant du cardinal du domaine de la fonction à étendre). Voir [205].

17 Imagerie Mathématique et Approximation

Mots clés : Imagerie Mathématique, Méthodes Level Set, Calcul des variations, Équations aux dérivées Partielles, Analyse numérique, Approximation, Solutions de viscosité, Optimisation, Vision par Ordinateur.

17.A Segmentation sous contraintes topologiques.

C. LE GUYADER, avec L. Vese (UCLA)

L'utilisation des méthodes Level Set dans la modélisation des problèmes de segmentation induit une grande flexibilité topologique qui s'avère rédhibitoire dans certaines applications. L'objet de cet axe de recherche est donc de développer des modèles imposant des contraintes topologiques au contour qui évolue.

Récemment, nous avons mis au point un modèle donnant de bons résultats pour des images bidimensionnelles. Nous l'étendons actuellement au cas de la dimension 3 avec comme perspective des applications de type brain mapping.

17.B Problématique de 'registration' ou 'matching'.

C. LE GUYADER, avec L. Vese (UCLA)

Considérant deux images, appelées respectivement 'template' et 'reference', l'objectif est de déterminer une transformation géométrique telle que l'image template déformée coïncide avec l'image de référence. Avec L. Vese, nous avons développé un modèle de segmentation fondé sur une approche 'registration'.

17.C Approximation des courants marins.

C. LE GUYADER, avec D. Apprato (Pau), C. Gout (Valenciennes)

Nous travaillons sur l'approximation de champ de vecteurs dérivant d'un potentiel avec comme application l'approximation des courants marins.

Chapitre 4

Publications

1 Articles de revue internationale avec comité de lecture

- [1] G. AKRIVIS ET M. CROUZEIX, *Linearly implicit methods for nonlinear parabolic equations*, Math. Comp., 73 (2004), p. 613–635 (electronic).
- [2] G. ALLAIRE ET Y. CAPDEBOSCQ, *Homogenization and localization for a 1-D eigenvalue problem in a periodic medium with an interface*, Ann. Mat. Pura Appl. (4), 181 (2002), p. 247–282.
- [3] G. ALLAIRE, Y. CAPDEBOSCQ ET A. PIATNITSKI, *Homogenization and localization with an interface*, Indiana Univ. Math. J., 52 (2003), p. 1413–1446.
- [4] G. ALLAIRE, Y. CAPDEBOSCQ, A. PIATNITSKI, V. SIESS ET M. VANNINATHAN, *Homogenization of periodic systems with large potentials*, Arch. Ration. Mech. Anal., 174 (2004), p. 179–220.
- [5] F. ALOUGES ET V. BONNAILLIE-NOËL, *Numerical computations of fundamental eigenstates for the Schrödinger operator under constant magnetic field*, Numerical Methods for PDE, 22 (2006), p. 1090–1105.
- [6] E. AMEUR, D. SBIBIH ET P. SABLONNIÈRE, *A general multiresolution method for fitting functions on the sphere*, Numerical Algorithms, 34 (2003), p. 159–171.
- [7] A. BACHELOT, E. DARRIGRAND ET K. MER-NKONGA, *Coupling of a multilevel fast multipole method and a microlocal discretization for the 3-D integral equations of electromagnetism*, C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 336 (2003), p. 505–510.
- [8] F. BACHMANN ET J. VOVELLE, *Existence and uniqueness of entropy solution of scalar conservation laws with a flux function involving discontinuous coefficients*, Comm. Partial Differential Equations, 31 (2006), p. 371–395.
- [9] C. BADEA, M. CROUZEIX ET B. DELYON, *Convex domains and K -spectral sets*, Math. Z., 252 (2006), p. 345–365.
- [10] N. BAKAEV, M. CROUZEIX ET V. THOMÉE, *Maximum-norm resolvent estimates for elliptic finite element operators on nonquasiuniform triangulations*, M2AN, (à paraître).
- [11] S. BALAC ET G. CALOZ, *Induced magnetic field computations using a boundary integral formulation*, Applied Numerical Mathematics, 41 (2002), p. 345–367.

- [12] —, *Magnetostatic field computations based on the coupling of finite element and integral representation methods*, IEEE Transactions on Magnetics, 38 (2002), p. 393–396.
- [13] —, *Cancellation errors in an integral for calculating magnetic field from reduced scalar potential*, IEEE Transactions on Magnetics, 39 (2003), p. 1997–2002.
- [14] —, *The reduced scalar potential in regions with permeable materials : reasons for loss of accuracy and cancellation*, à paraître dans International Journal of Numerical Modelling, (2006).
- [15] D. BARRERA, M. J. IBÁÑEZ, P. SABLONNIÈRE ET D. SBIBIH, *Near best quasi-interpolants associated with H-splines on a three-direction mesh*, J. Comput. Appl. Math., 183 (2005), p. 133–152.
- [16] —, *Near minimally normed spline quasi-interpolants on uniform partitions.*, J. Comput. Appl. Math., 181 (2005), p. 211–233.
- [17] B. BECKERMANN ET M. CROUZEIX, *A lenticular version of a von Neumann inequality*, Arch. Math. (Basel), 86 (2006), p. 352–355.
- [18] A. BELMILOUDI, *Mathematical analysis and optimal control problems for the perturbation of the primitive equations of the ocean with vertical viscosity.*, J. Appl. Anal., 8 (2002), p. 153–200.
- [19] —, *Robin-type boundary control problems for the nonlinear Boussinesq type equations.*, J. Math. Anal. Appl., 273 (2002), p. 428–456.
- [20] —, *Nonlinear robust control problems of parabolic type equations with time-varying delays given in the integral form.*, J. Dyn. Control Syst., 9 (2003), p. 469–512.
- [21] —, *Robust control problems associated with time-varying delay nonlinear parabolic equations.*, IMA J. Math. Control Inf., 20 (2003), p. 305–334.
- [22] —, *On some robust control problems for nonlinear parabolic equations.*, Int. J. Pure Appl. Math., 11 (2004), p. 119–151.
- [23] —, *Robust and optimal control problems to a phase-field model for the solidification of a binary alloy with a constant temperature.*, J. Dyn. Control Syst., 10 (2004), p. 453–499.
- [24] —, *Nonlinear optimal control problems of degenerate parabolic equations with logistic time-varying delays of convolution type.*, Nonlinear Analysis : Theory, Methods and Applications, 63 (2005), p. 1126–1152.
- [25] —, *Optimal control problem of nonlinear degenerate parabolic differential systems with logistic time-varying delays.*, IMA J. Math. Control Inf., 22 (2005), p. 88–108.
- [26] —, *Analysis of the impact of nonlinear heat transfer laws on temperature distribution in irradiated biological tissues : mathematical models and optimal controls.*, J. Dynam. Contr. Systems, à paraître (2006).
- [27] —, *Bilinear minimax control problems for a class of parabolic systems with applications to control of nuclear reactors.*, J. Math. Anal. Appl., (2006).
- [28] —, *Minimax control problem of periodic competing parabolic systems with logistic growth terms.*, Inter. Journal of Control, 79 (2006), p. 150–161.
- [29] —, *On some control problems for heat transfer systems in perfused biological tissues, wseas transactions on systems.*, WSEAS Transactions on Systems, 5 (2006), p. 17–25.

- [30] —, *Robust control problems of vortex dynamics in superconducting films with ginzburg-landau complex systems.*, Abstr. Appl. Anal., 2006 (2006).
- [31] A. BELMILOUDI ET G. LE MEUR, *Mathematical and numerical analysis of dehydration of gypsum plasterboards exposed to fire.*, Appl. Math. Comput., 163 (2005), p. 1023–1041.
- [32] A. BELMILOUDI ET F. MAHÉ, *Numerical resolution of long waves in a shallow-water type model.*, Inter. Journal of Nonlinear Sci. Numerical Simulation, à paraître (2006).
- [33] A. BELMILOUDI ET J.-P. YVON, *Robust control of a non-isothermal solidification model.*, WSEAS Transactions on Systems, 4 (2005), p. 2291–2300.
- [34] N. BEN ABDALLAH ET F. MÉHATS, *Semiclassical analysis of the Schrödinger equation with a partially confining potential*, J. Math. Pures Appl. (9), 84 (2005), p. 580–614.
- [35] N. BEN ABDALLAH, F. MÉHATS ET C. NEGULESCU, *Adiabatic quantum-fluid transport models*, Commun. Math. Sci., 4 (2006), p. 621–650.
- [36] N. BEN ABDALLAH, F. MÉHATS ET O. PINAUD, *On an open transient Schrödinger-Poisson system*, Math. Models Methods Appl. Sci., 15 (2005), p. 667–688.
- [37] N. BEN ABDALLAH, F. MÉHATS ET G. QUINIO, *Global existence of classical solutions for a Vlasov-Schrödinger-Poisson system*, Indiana Univ. Math. J., à paraître.
- [38] N. BEN ABDALLAH, F. MÉHATS, C. SCHMEISER ET R. M. WEISHÄUPL, *The nonlinear Schrödinger equation with a strongly anisotropic harmonic potential*, SIAM J. Math. Anal., 37 (2005), p. 189–199.
- [39] N. BEN ABDALLAH, F. MÉHATS ET N. VAUCHELET, *Diffusive transport of partially quantized particles : Existence, uniqueness and long time behaviour*, Proc. of the Edinburgh Math. Soc., à paraître.
- [40] J.-D. BENAMOU, F. CASTELLA, T. KATSAOUNIS ET B. PERTHAME, *High frequency limit of the Helmholtz equations*, Rev. Mat. Iberoamericana, 18 (2002), p. 187–209.
- [41] D. BENEDETTO, F. CASTELLA, R. ESPOSITO ET M. PULVIRENTI, *Some considerations on the derivation of the nonlinear quantum Boltzmann equation*, J. Statist. Phys., 116 (2004), p. 381–410.
- [42] D. BENEDETTO, M. PULVIRENTI, F. CASTELLA ET R. ESPOSITO, *A short review on the derivation of the nonlinear quantum Boltzmann equation*, Comm. Math. Sci., à paraître.
- [43] —, *On the weak-coupling limit for bosons and fermions*, Math. Models Methods Appl. Sci., 15 (2005), p. 1811–1843.
- [44] —, *Some considerations on the derivation of the nonlinear quantum Boltzmann equation ii : the low density regime*, J. Statist. Phys., à paraître (2006).
- [45] B. BIDÉGARAY-FESQUET, F. CASTELLA ET P. DEGOND, *From Bloch model to the rate equations*, Discrete Contin. Dyn. Syst., 11 (2004), p. 1–26.
- [46] B. BIDÉGARAY-FESQUET, F. CASTELLA, E. DUMAS ET M. GISCLON, *From Bloch model to the rate equations. II. The case of almost degenerate energy levels*, Math. Models Methods Appl. Sci., 14 (2004), p. 1785–1817.

- [47] D. BOFFI, M. COSTABEL, M. DAUGE ET L. DEMKOWICZ, *Discrete compactness for the hp version of rectangular edge finite elements*, SIAM J. Numer. Anal., 44 (2006), p. 979–1004 (electronic).
- [48] D. BOFFI, L. DEMKOWICZ ET M. COSTABEL, *Discrete compactness for p and hp 2D edge finite elements*, Math. Models Methods Appl. Sci., 13 (2003), p. 1673–1687.
- [49] V. BONNAILLIE, *On the fundamental state energy for a Schrödinger operator with magnetic field in domains with corners*, Asymptotic Analysis, 41 (2005), p. 215–258.
- [50] V. BONNAILLIE-NOËL, *A posteriori error estimate for the eigenvalue problem associated to the Schrödinger operator with magnetic field*, Numerische Mathematik, 99 (2004), p. 325–348.
- [51] V. BONNAILLIE-NOËL ET M. DAUGE, *Asymptotics for the low-lying eigenstates of the Schrödinger operator with magnetic field near corners*, Annales Henri Poincaré, 7 (2006), p. 899–931.
- [52] V. BONNAILLIE-NOËL, M. DAUGE, D. MARTIN ET G. VIAL, *Computations of the first eigenpairs for the Schrödinger operator with magnetic field*, Comput. Methods Appl. Mech. Engng., (A paraître).
- [53] J.-P. BOURGADE, P. DEGOND, F. MÉHATS ET C. RINGHOFER, *On quantum extensions to classical spherical harmonics expansion / Fokker-Planck models*, J. Math. Phys., 47, number 043302 (2006), p. 26.
- [54] A. BRAIDES ET M. BRIANE, *Homogenization of nonlinear variational problems with low-conductivity thin regions*, Appl. Math. Opt. Publié en ligne et à paraître.
- [55] T. BRIANÇON, *Regularity of optimal shapes for the Dirichlet energy with volume constraint*, ESAIM : Control, Optimisation and Calculus of Variations, (2005).
- [56] T. BRIANÇON, M. HAYOUNI ET M. PIERRE, *Lipschitz continuity of state functions in some optimal shaping*, Calculus of Variations and Partial Differential Equations, 23 (2005), p. 13–32.
- [57] M. BRIANE, *Homogenization of high-conductivity periodic problems. application to a general distribution of one-directional fibers*, SIAM J. Math. Anal., 35 (2003), p. 33–60.
- [58] —, *Homogenization of the stokes equations with high-contrast viscosity*, J. Math. Pures Appl., 82 (2003), p. 843–876.
- [59] —, *Nonlocal effects in two-dimensional conductivity*, Arch. Rat. Mech. Anal., 182 (2006), p. 255–267.
- [60] M. BRIANE ET Y. CAPDEBOSCQ, *Expansion formulae of the homogenised determinant for anisotropic checkerboards*, Proc. Royal Soc. London A, 462, p. 2759–2779.
- [61] M. BRIANE ET J. CASADO-DÍAZ, *Two-dimensional div-curl results, application to the lack of nonlocal effects in homogenization*, Com. Part. Diff. Equa. A paraître.
- [62] —, *Lack of compactness in the two-scale convergence*, SIAM J. Math. Anal., 37 (2005), p. 343–346.
- [63] M. BRIANE, G. MILTON ET V. NESI, *Change of sign of the corrector's determinant for homogenization in three-dimensional conductivity*, Arch. Rat. Mech. Anal., 173 (2004), p. 133–150.

- [64] M. BRIANE, G. MOKOBODZKI ET F. MURAT, *Variations on a strange semi-continuity result*, J. Func. Anal., 227 (2005), p. 78–112.
- [65] M. BRIANE ET V. NESI, *Is it wise to keep laminating ?*, ESAIM : Con. Opt. Cal. Var., 10 (2004), p. 452–477.
- [66] A. BUFFA, M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Anisotropic regularity results for Laplace and Maxwell operators in a polyhedron*, C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 336 (2003), p. 565–570.
- [67] ———, *Algebraic convergence for anisotropic edge elements in polyhedral domains*, Numer. Math., 101 (2005), p. 29–65.
- [68] A. BUFFA, M. COSTABEL ET C. SCHWAB, *Boundary element methods for Maxwell's equations on non-smooth domains*, Numer. Math., 92 (2002), p. 679–710.
- [69] A. BUFFA, M. COSTABEL ET D. SHEEN, *On traces for $\mathbf{H}(\text{curl}, \Omega)$ in Lipschitz domains*, J. Math. Anal. Appl., 276 (2002), p. 845–867.
- [70] F. CAKONI, D. COLTON ET E. DARRIGRAND, *The inverse electromagnetic scattering problem for screens*, Inverse Problems, 19 (2003), p. 627–642.
- [71] F. CAKONI ET E. DARRIGRAND, *The inverse electromagnetic scattering problem for a mixed boundary value problem for screens*, J. Comput. Appl. Math., 174 (2005), p. 251–269.
- [72] G. CALOZ, M. COSTABEL, M. DAUGE ET G. VIAL, *Asymptotic expansion of the solution of an interface problem in a polygonal domain with thin layer*, à paraître dans Asymptotic Analysis, (2006).
- [73] M. CAMAR-EDDINE ET G. W. MILTON, *Non-local interactions in the homogenization closure of thermoelectric functionals*, Asymptotic Analysis, Vol. 41, numbers 3-4 (2005), p. 259–276.
- [74] E. CANCÈS, F. CASTELLA, P. CHARTIER, E. FAOU, C. LE BRIS, F. LEGOLL ET G. TURINICI, *High-order averaging schemes with error bounds for thermodynamical properties calculations by molecular dynamics simulations*, J. Chem. Phys., 121 (2004), p. 10346–10355.
- [75] ———, *Long-time averaging for integrable Hamiltonian dynamics*, Numer. Math., 100 (2005), p. 211–232.
- [76] Y. CAPDEBOSCQ, *Homogenization of a neutronic critical diffusion problem with drift*, Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A, 132 (2002), p. 567–594.
- [77] Y. CAPDEBOSCQ ET M. S. VOGELIUS, *A general representation formula for boundary voltage perturbations caused by internal conductivity inhomogeneities of low volume fraction*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 37 (2003), p. 159–173.
- [78] ———, *Optimal asymptotic estimates for the volume of internal inhomogeneities in terms of multiple boundary measurements*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 37 (2003), p. 227–240.
- [79] F. CASTELLA, *From the von Neumann equation to the quantum Boltzmann equation. II. Identifying the Born series*, J. Statist. Phys., 106 (2002), p. 1197–1220.

- [80] —, *The radiation condition at infinity for the high-frequency Helmholtz equation with source term : a wave-packet approach*, J. Funct. Anal., 223 (2005), p. 204–257.
- [81] F. CASTELLA, P. CHARTIER ET E. FAOU, *Analysis of a Poisson system with boundary conditions*, C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 336 (2003), p. 703–708.
- [82] F. CASTELLA, P. CHARTIER, E. FAOU, D. BAYART, F. LEPLINGARD ET C. MARTINELLI, *Modeling of multi-wavelength Raman fiber lasers using a new and fast algorithm*, IEEE Photonics Technology Letters, 16 (2004), p. 2601–2603.
- [83] —, *Raman laser : mathematical and numerical analysis of a model*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 38 (2004), p. 457–475.
- [84] F. CASTELLA, T. GOUDON ET P. DEGOND, *Diffusion dynamics of classical systems driven by an oscillatory force*, J. Statist. Phys., à paraître (2006).
- [85] F. CASTELLA, B. PERTHAME ET O. RUNBORG, *High frequency limit of the Helmholtz equation. II. Source on a general smooth manifold*, Comm. Partial Differential Equations, 27 (2002), p. 607–651.
- [86] F. CASTELLA ET A. PLAGNE, *A distribution result for slices of sums of squares*, Math. Proc. Cambridge Philos. Soc., 132 (2002), p. 1–22.
- [87] —, *Non derivation of the quantum Boltzmann equation from the periodic von Neumann equation*, Indiana Univ. Math. J., 51 (2002), p. 963–1016.
- [88] M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Weighted regularization of Maxwell equations in polyhedral domains. A rehabilitation of nodal finite elements*, Numer. Math., 93 (2002), p. 239–277.
- [89] M. COSTABEL, M. DAUGE ET R. DUDUCHAVA, *Asymptotics without logarithmic terms for crack problems*, Comm. Partial Differential Equations, 28 (2003), p. 869–926.
- [90] M. COSTABEL, M. DAUGE, S. A. NAZAROV ET J. SOKOLOWSKI, *Analysis of crack singularities in an aging elastic material*, Math. Model. Numer. Anal., 40 (2006), p. 553–595.
- [91] M. COSTABEL, M. DAUGE ET S. NICAISE, *Singularities of eddy current problems*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 37 (2003), p. 807–831.
- [92] —, *Corner singularities of Maxwell interface and eddy current problems*, in Operator theoretical methods and applications to mathematical physics, vol. 147 de Oper. Theory Adv. Appl., Birkhäuser, Basel, 2004, p. 241–256.
- [93] M. COSTABEL, M. DAUGE ET C. SCHWAB, *Exponential convergence of hp-FEM for Maxwell equations with weighted regularization in polygonal domains*, Math. Models Methods Appl. Sci., 15 (2005), p. 575–622.
- [94] M. COSTABEL, M. DAUGE ET Z. YOSIBASH, *A quasi-dual function method for extracting edge stress intensity functions*, SIAM J. Math. Anal., 35 (2004), p. 1177–1202 (electronic).
- [95] M. COSTABEL ET J. SARANEN, *The spline collocation for parabolic boundary integral operators on smooth curves*, Numer. Math., 93 (2003), p. 549–562.
- [96] M. CROUZEIX, *Contractivity and analyticity in l^p of some approximation of the heat equation*, Numer. Algorithms, 33 (2003), p. 193–201.

- [97] —, *Bounds for analytical functions of matrices*, Integral Equations Operator Theory, 48 (2004), p. 461–477.
- [98] —, *Operators with numerical range in a parabola*, Arch. Math. (Basel), 82 (2004), p. 517–527.
- [99] —, *Une famille d'inégalités pour les ensembles convexes du plan*, Ann. Math. Blaise Pascal, 12 (2005), p. 223–230.
- [100] M. CROUZEIX ET B. DELYON, *Some estimates for analytic functions of strip or sectorial operators*, Arch. Math. (Basel), 81 (2003), p. 559–566.
- [101] M. DAMBRINE ET G. VIAL, *On the influence of a boundary perforation on the Dirichlet energy*, Control and Cybernetics, 34 (2005), p. 117–136.
- [102] E. DARRIGRAND ET P. MONK, *Coupling of the ultra-weak variational formulation and an integral representation using a fast multipole method in electromagnetism*, J. Comput. Appl. Math., (à paraître).
- [103] M. DAUGE ET C. SCHWAB, *hp-FEM for three-dimensional elastic plates*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 36 (2002), p. 597–630.
- [104] M. DAUGE ET M. SURI, *Numerical approximation of the spectra of non-compact operators arising in buckling problems*, J. Numer. Math., 10 (2002), p. 193–219.
- [105] —, *On the asymptotic behaviour of the discrete spectrum in buckling problems for thin plates*, Math. Methods Appl. Sci., 29 (2006), p. 789–817.
- [106] P. DEGOND, S. GALLEGRO ET F. MÉHATS, *An entropic quantum drift-diffusion model for electron transport in resonant tunneling diodes*, J. Comput. Phys., à paraître.
- [107] P. DEGOND, F. MÉHATS ET C. RINGHOFER, *Quantum energy-transport and drift-diffusion models*, J. Stat. Phys., 118 (2005), p. 625–667.
- [108] M.-M. DERRIENNIC, *Shape preserving polynomial curves*, Adv. Comput. Math., 20(4) (2004), p. 273–292.
- [109] —, *Modified Bernstein polynomials and Jacobi polynomials in q -calculus*, Rend. Circ. Mat. Palermo (2) Suppl., (2005), p. 269–290.
- [110] J. DRONIOU, T. GALLOUET ET J. VOVELLE, *Global solution and smoothing effect for a non-local regularization of a hyperbolic equation*, J. Evol. Equ., 3 (2003), p. 499–521.
- [111] J. DRONIOU, C. IMBERT ET J. VOVELLE, *An error estimate for the parabolic approximation of multidimensional scalar conservation laws with boundary conditions*, Ann. Inst. H. Poincaré Anal. Non Linéaire, 21 (2004), p. 689–714.
- [112] S. DUBUC, B. HAN, J.-L. MERRIEN ET Q. MO, *Dyadic C^2 Hermite interpolation on a square mesh*, CAGD, 22 (2005), p. 727–752.
- [113] S. DUBUC ET J.-L. MERRIEN, *Convergent vector and Hermite subdivision schemes*, Const. Approx., 23 (2006), p. 1–22.
- [114] R. EYMARD, T. GALLOUËT ET J. VOVELLE, *Limit boundary conditions for finite volume approximations of some physical problems*, J. Comput. Appl. Math., 161 (2003), p. 349–369.

- [115] S. GALLEG0 ET F. MÉHATS, *Entropic discretization of a quantum drift-diffusion model*, SIAM J. Numer. Anal., 43 (2005), p. 1828–1849.
- [116] C. GOUT ET C. LE GUYADER, *Segmentation of complex geophysical structures with well data*, Computational Geosciences, in press (2006).
- [117] C. GOUT, C. LE GUYADER ET L. VESE, *Segmentation under geometrical conditions using geodesic active contours and interpolation using level set methods*, Numerical Algorithms, 39 (2005), p. 155–173.
- [118] M. HAYOUNI ET M. PIERRE, *Domain-continuity for an elliptic operator of fourth order*, Communications in Contemporary Mathematics, 4 (2002), p. 1–14.
- [119] A. HENROT, M. PIERRE ET M. RIHANI, *Finite dimensional reduction for the positivity of some second shape derivatives*, Meth. and Appl. of Ana., 10 (2003), p. 457–476.
- [120] —, *Positivity of the shape hessian and instability of some equilibrium shapes*, Med. J. Math., 1 (2004), p. 195–214.
- [121] C. IMBERT ET J. VOVELLE, *A kinetic formulation for multidimensional scalar conservation laws with boundary conditions and applications*, SIAM J. Math. Anal., 36 (2004), p. 214–232.
- [122] V. KOMORNIK, P. MARTINEZ, M. PIERRE ET J. VANCOSTENOBLE, *Blow-up of bounded solutions of differential equations*, Acta Sci. Math. (Szeged), 69 (2003), p. 651–657.
- [123] I. KOSTIN, M. MARION, R. TEXIER-PICARD ET V. A. VOLPERT, *Modelling of miscible liquids with the Korteweg stress*, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 37 (2003), p. 741–753.
- [124] J. LAMBOLEY ET M. PIERRE, *Structure of shape derivatives around irregular domains and applications*, Journal of Convex Analysis, (À paraître).
- [125] N. LANDAIS, *A regularity result in a shape optimization problem with perimeter*, Journal of Convex Analysis, (À paraître).
- [126] E. LE-GRUYER, *On absolutely minimizing Lipschitz extensions and pde $\Delta_\infty u = 0$* , NoDEA, (Article accepté pour publication).
- [127] C. LE GUYADER, D. APPRATO ET C. GOUT, *Using a level set approach for image segmentation under interpolation conditions*, Numerical Algorithms, 39 (2005), p. 221–235.
- [128] M. LEMOU, F. MÉHATS ET P. RAPHAËL, *Uniqueness of the critical mass blow up solution for the four dimensional gravitational Vlasov-Poisson system*, Ann. Inst. H. Poincaré Anal. Non Linéaire, à paraître.
- [129] —, *Orbital stability and singularity formation for Vlasov-Poisson systems*, C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 341 (2005), p. 269–274.
- [130] T. LYCHE ET J.-L. MERRIEN, *C^1 interpolatory subdivision with shape constraints for curves*, Siam J. Numer. Anal., 442 (2006), p. 1095–1121.
- [131] F. MAHÉ ET A. BELMILOUDI, *Numerical resolution of long waves in a shallow-water type model*, International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical simulation, (à paraître).

- [132] C. MANNI ET P. SABLONNIÈRE, *Quadratic spline quasi-interpolants on Powell-Sabin partitions*, Adv. Comput. Math., (à paraître).
- [133] A. MAZROUI, D. SBIBIH ET P. SABLONNIÈRE, *Existence and construction of H^1 -splines of class C^k on a three-direction mesh*, Advances in Comput. Math., 17 (2002), p. 167–198.
- [134] F. MÉHATS, *Analysis of a quantum subband model for the transport of partially confined charged particles*, Monatsh. Math., 147 (2006), p. 43–73.
- [135] J.-L. MERRIEN ET P. SABLONNIÈRE, *Monotone and convex C^1 Hermite interpolants generated by an adaptative subdivision scheme*, Constructive Approximation, 19 (2003), p. 279–298.
- [136] A. MICHEL ET J. VOVELLE, *Entropy formulation for parabolic degenerate equations with general Dirichlet boundary conditions and application to the convergence of FV methods*, SIAM J. Numer. Anal., 41 (2003), p. 2262–2293.
- [137] O. NOUISSER, D. SBIBIH ET P. SABLONNIÈRE, *A family of spline quasi-interpolants on the sphere.*, Numerical Algorithms, 33 (2003), p. 399–413.
- [138] —, *Pairs of B-splines with small support on the four-directional mesh generating a partition of unity*, Adv. Comput. Math., 2004 (21), p. 317–355.
- [139] A. NOVRUZI ET M. PIERRE, *Structure of shape derivatives*, Journal of Evolution Equations, 2 (2002), p. 365–382.
- [140] M. OHLBERGER ET J. VOVELLE, *Error estimate for the approximation of nonlinear conservation laws on bounded domains by the finite volume method*, Math. Comp., 75 (2006), p. 113–150.
- [141] N. OMER, Z. YOSIBASH, M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Edge flux intensity functions in polyhedral domains and their extraction by a quasidual function method*, International J. Fracture, 129 (2004), p. 97–130.
- [142] M. PIERRE, *Weak solutions and supersolutions in L^1 for reaction-diffusion systems*, Journal of Evolution Equations, 3 (2003), p. 153–168.
- [143] M. PIERRE ET M. RIHANI, *Effects of variable step-size in some abstract product formula*, Lect. Notes in Pure and Applied Math., M. Dekker, 234 (2003), p. 337–351.
- [144] A. PORRETTA ET J. VOVELLE, *L^1 solutions to first order hyperbolic equations in bounded domains*, Comm. Partial Differential Equations, 28 (2003), p. 381–408.
- [145] A. RAHMOUNI, *An algebraic method to develop well-posed PML models. Absorbing layers, perfectly matched layers, linearized Euler equations*, J. Comput. Phys., 197 (2004), p. 99–115.
- [146] —, *Un modèle PML bien posé pour l'élastodynamique anisotrope*, C. R. Math. Acad. Sci. Paris, 338 (2004), p. 963–968.
- [147] P. SABLONNIÈRE, *An algorithm for the computation of Hermite-Padé approximations to the exponential function : divided differences and Hermite-Padé forms*, Numerical Algorithms, 33 (2003), p. 443–452.
- [148] —, *Quadratic spline quasi-interpolants on bounded domains of R^d , $d = 1, 2, 3$* , Rend. Sem. Univ. Pol. Torino, 61 (2003), p. 61–78.

- [149] —, *Bernstein type bases and corner-cutting algorithms for C^1 Merrien curves*, Adv. Comput. Math., 20 (2004), p. 229–246.
- [150] —, *Univariate spline quasi-interpolants and applications to numerical analysis*, Rend. Sem. Univ. Pol. Torino, 63 (2005), p. 107–118.
- [151] N. SEGUIN ET J. VOVELLE, *Analysis and approximation of a scalar conservation law with a flux function with discontinuous coefficients*, Math. Models Methods Appl. Sci., 13 (2003), p. 221–257.
- [152] R. TEXIER-PICARD ET V. A. VOLPERT, *Reaction-diffusion-convection problems in unbounded cylinders*, Rev. Mat. Complut., 16 (2003), p. 233–276.
- [153] S. TORDEUX, G. VIAL ET M. DAUGE, *Matching and multiscale expansions for a model singular perturbation problem*. A paraître dans C. R. Acad. Sci. Paris, 2006.
- [154] G. VIAL, *Efficiency of approximate boundary conditions for corner domains coated with thin layers*, C. R. Acad. Sci. Paris, 340 (2005), p. 215–220.
- [155] Z. YOSIBASH, N. OMER, M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Edge stress intensity functions in polyhedral domains and their extraction by a quasidual function method*, International J. Fracture, 136 (2005), p. 37–73.

2 Autres publications avec comité de lecture

- [156] A. BACHELOT, E. DARRIGRAND ET K. MER-NKONGA, *Coupling of a fast multipole method and a microlocal discretization for integral equations of electromagnetism*, in Mathematical and numerical aspects of wave propagation—WAVES 2003, Springer, Berlin, 2003, p. 669–674.
- [157] A. BELMILOUDI, *Studies in Robin-type boundary control problems for the primitive equation of the ocean*, in Proceedings of the 8th IEEE MMAR (Szczecin, Poland, 2002), IEEE Control Society, 2002, p. 159–166.
- [158] —, *Analysis of robust control problems for a quasilinear parabolic equations*, in Proceedings of the 9th IEEE MMAR (Miedzyzdroje, Poland, 2003), IEEE Control Society, 2003, p. 99–108.
- [159] —, *Mathematical and computational methods of an optimal control for the primitive equations in a coupled atmosphere-ocean model*, in Proceedings of the 9th IEEE MMAR (Miedzyzdroje, Poland, 2003), IEEE Control Society, 2003, p. 87–96.
- [160] —, *On some control problems for heat transfer systems in perfused biological tissues*, in Proceedings of the WSEAS Inter. Conf. on Dynamical System and Control (Venice, 2005), Wseas Press, 2005, p. 7–12.
- [161] A. BELMILOUDI ET J.-P. YVON, *Optimal control of a non-isothermal solidification model*, in Proceedings of the Int. Conf. on Dynamical Systems and Control (Venice 2005), WSEAS, WSEAS Press, 2005, p. 1–6.
- [162] N. BEN ABDALLAH, P. PIETRA, F. MÉHATS ET N. VAUCHELET, *A drift-diffusion sub-band model for the double-gate mosfet*, 5th IEEE Conference on Nanotechnology, 2005.

- [163] P. BOISSOLES ET H. BENAHMED, *Optimization material distribution in ferromagnetic electromagnet*, in *Résumés des Communications*, CANUM 2006, Guidel, 2006.
- [164] P. BOISSOLES, H. BENAHMED, M. PIERRE ET B. MULTON, *Optimization material distribution in ferromagnetic electromagnet*, in *Proceedings of ICEM'2006*, XVIIth Conference on Electrical Machines, 2006.
- [165] V. BONNAILLIE-NOËL, *Schrödinger operator with magnetic field in domain with corners*, in *Journées Équations aux dérivées partielles*, Forges-les-Eaux, École Polytechnique, 2005.
- [166] F. CAKONI ET E. DARRIGRAND, *The linear sampling method for the inverse electromagnetic scattering problem for a mixed boundary value problem for screens*, in *GAMM 2005*, University of Luxembourg, 2005.
- [167] F. CASTELLA, *The Helmholtz equation with source term : high-frequency analysis, and radiation condition at infinity*, *Actes du 36ème Congrès d'Analyse Numérique - Obernai*, 2004.
- [168] ———, *The radiation condition at infinity for the high-frequency Helmholtz equation with source term : a wave packet approach*, *Journées "Équations aux dérivées partielles" - Forges-les-Eaux*, 2004.
- [169] M. COSTABEL, M. DAUGE, D. MARTIN ET G. VIAL, *Weighted regularization of Maxwell equations – computations in curvilinear polygons*, in *Proceedings of the 4th European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Applications*, Ischia, July 2001, F. Brezzi, A. Buffa, S. Corsaro et A. Murli, eds., Springer, Milano, 2003, p. 273–280.
- [170] M. COSTABEL, M. DAUGE ET S. NICAISE, *Singularities of electromagnetic fields in the eddy current limit*, in *Computational Electromagnetism*, in *Oberwolfach Reports*, R. Hiptmair, éd., vol. 1, EMS, 2004, p. 575–579.
- [171] M. COSTABEL, M. DAUGE ET C. SCHWAB, *Exponential convergence of the Weighted Regularization Method for Maxwell eigenvalue problems*, in *Proceedings of the 9th International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, Torino, Italy, September 2005, R. D. Graglia, éd., Torino, 2005, p. 849–852.
- [172] M. COSTABEL ET C. SAFA, *A wavelet approximation method for the integral equations of an antenna problem*, in *Proceedings of the 4th European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Applications*, Ischia, July 2001, F. Brezzi, A. Buffa, S. Corsaro et A. Murli, eds., Springer, Milano, 2003, p. 265–272.
- [173] E. DARRIGRAND ET P. MONK, *Ultra-weak variational formulation and integral representation using a fast multipole method for the equations of electromagnetism*, in *Third International Conference on Boundary Integral Methods : Theory and Applications*, IMA - University of Reading, 2004.
- [174] P. DEGOND, S. GALLEGRO ET F. MÉHATS, *Numerical discretization of a fully quantum drift-diffusion model*, *Third MIT Conference on Fluid and Solid Mechanics*, Elsevier, 2005.

- [175] L. HALPERN ET A. RAHMOUNI, *One-way operators, absorbing boundary conditions and domain decomposition for wave propagation*, in Modern methods in scientific computing and applications, vol. 75 de NATO Sci. Ser. II Math. Phys. Chem., Kluwer Acad. Publ., 2002, p. 155–209.
- [176] T. HENRI ET J.-P. YVON, *Convergence estimates for POD-Galerkin methods for parabolic problems*, in Lecture Notes in Computer Sciences, vol. 166, IFIP-TC7, Springer, 2006, p. 295–306.
- [177] M. J. IBÁÑEZ, D. BARRERA ET P. SABLONNIÈRE, *Near-best quasi-interpolants on uniform and nonuniform partitions.*, in Curve and Surface Fitting : Saint-Malo 2002., Nashboro Press, Brentwood, 31-40, 2003.
- [178] F. LEPLINGARD, C. MARTINELLI, S. BORNE, L. LORCY, T. LOPEZ, D. BAYART, F. CASTELLA, P. CHARTIER ET E. FAOU, *Modeling of multi-wavelength Raman fiber lasers using a new and fast algorithm*, Proceedings of the 30th European conference on optical communication, Stockholm, 2004.
- [179] P. SABLONNIÈRE, *H-splines and quasi-interpolants on a three-directional mesh of the plane.*, in Advanced problems in constructive approximation, ISNM 142, Birkhäuser-Verlag, 187-201, 2002.
- [180] —, *On some multivariate quadratic spline quasi-interpolants on bounded domains*, in Modern developments in multivariate approximation., ISNM 145, Birkhäuser-Verlag, 263-278, 2003.
- [181] —, *Some properties of C^1 surfaces defined by tensor products of Merrien subdivision schemes*, in Curve and Surface Fitting : Saint-Malo 2002, Nashboro Press, Brentwood, 363-372, 2003.
- [182] —, *Recent progress on univariate and multivariate polynomial and spline quasi interpolants.*, in Trends and Applications in Constructive Approximation., ISNM 151, Birkhäuser-Verlag, 229-245, 2005.
- [183] —, *Refinement equation and subdivision algorithm for quadratic B-spline on non-uniform criss-cross triangulations*, in International Conference on Wavelets and splines, St Petersburg, July 3-8, 2003, St Petersburg University Press, 84-102., 2005.
- [184] R. TEXIER-PICARD ET V. VOLPERT, *Convective combustion fronts : an existence result*, in Patterns and waves (Saint Petersburg, 2002), AkademPrint, St. Petersburg, 2003, p. 205–220.

3 Autres publications, preprints, articles en préparation

- [185] N. ALIBAUD, J. DRONIOU ET J. VOVELLE, *Occurence and non-appearance of shocks in fractal Burgers equations*. 2006.
- [186] S. BALAC ET G. CALOZ, *Coupling of FEM and integral representation in magnetostatics*. soumis pour publication, 2006.
- [187] D. BARRERA, M. J. IBÁÑEZ, D. SBIBIH ET P. SABLONNIÈRE, *On two families of near-best quasi-interpolants on non-uniform partitions of the real line*. Submitted, Preprint IRMAR 06-05, 2006.

- [188] —, *Near best bivariate spline quasi-interpolants on a four-directional mesh of the plane*. Submitted, Preprint IRMAR 06-24, 2006.
- [189] B. BECKERMANN ET M. CROUZEIX, *Operators with numerical range in a conic domain*. soumis, 2006.
- [190] N. BEN ABDALLAH, F. CASTELLA ET F. MÉHATS, *Time averaging for the strongly confined nonlinear Schrödinger equation, using almost periodicity*. soumis pour publication, 2006.
- [191] C. BERNARDI, M. DAUGE ET Y. MADAY, *Polynomials in the Sobolev world*. Publications du Laboratoire Jacques-Louis Lions, **R 03038**, 2003.
- [192] P. BOISSELES ET G. CALOZ, *Accurate calculation of mutual inductance and magnetic fields in a birdcage coil*. Preprint IRMAR 06-07, 2006.
- [193] P. BOISSELES, M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Radio-frequency resonances of a partially immersed wire in MRI*. 2006.
- [194] V. BONNAILLIE, *Superconductivity in general domains*. Prépublications d'Orsay, 2004-09, 2004.
- [195] T. BRIANÇON, *Regularity of the optimal shape for the first eigenvalue of the Laplacian with volume and inclusion constraints*. preprint, 2005.
- [196] F. CASTELLA, P. DEGOND ET T. GOUDON, *Diffusion dynamics of classical systems driven by an oscillatory force : the case without periodicity assumption*. soumis pour publication, 2006.
- [197] M. COSTABEL, *The biharmonic double layer potential on Lipschitz domains*. 2006.
- [198] M. CROUZEIX, *Numerical range and functional calculus in Hilbert space*. 2003.
- [199] C. DAGNINO ET P. SABLONNIÈRE, *Error analysis for quadratic spline quasi-interpolants on non-uniform criss-cross triangulations of bounded rectangular domains*. Submitted, Preprint IRMAR 06-06, 2006.
- [200] M. DAUGE, *Benchmark computations for Maxwell equations for the approximation of highly singular solutions*.
perso.univ-rennes1.fr/monique.dauge/benchmax.html, 2004.
- [201] L. DESVILLETES, K. FELLNER, M. PIERRE ET J. VOVELLE, *About global existence for quadratic systems of reaction-diffusion*. Submitted, 2006.
- [202] F. FOUCHER ET P. SABLONNIÈRE, *Approximating partial derivatives of first and second order by quadratic spline quasi-interpolants*. Submitted, Preprint IRMAR 06-25, 2006.
- [203] Y. LAFRANCHE, *Fig4TeX : a TeX macro-package to create annotated figures*.
perso.univ-rennes1.fr/yvon.lafranche/fig4tex/, 2001–2006.
- [204] N. LANDAIS, *Hölder-continuity in a shape optimization problem with perimeter*. Submitted, 2006.
- [205] E. LE-GRUYER, *Minimal Lipschitz extensions to differentiable functions*. IRMAR 04-28, 2004.
- [206] —, *On absolutely minimizing Lipschitz extensions and PDE $\Delta_\infty u = 0$* . IRMAR 04-02, 2004.

- [207] D. MARTIN, *Librairie éléments finis MÉLINA*.
perso.univ-rennes1.fr/daniel.martin/melina, 1997–2006.
- [208] S. MARTIN ET J. VOVELLE, *Large-time behaviour of the entropy solution of a scalar conservation law with boundary conditions*. 2006.
- [209] B. MERLET ET J. VOVELLE, *Error estimate for the finite volume scheme applied to the advection equation*. 2006.
- [210] F. PELOSI ET P. SABLONNIÈRE, *Shape preserving C^1 GP Hermite interpolants generated by a subdivision scheme*. Submitted, Preprint IRMAR 06-23, 2006.
- [211] M. PIERRE ET J. VOVELLE, *Level-set P.D.E. as an alternative to renormalized solutions for parabolic equations*. preprint, 2006.
- [212] L. RAHMANI ET G. VIAL, *Reinforcement of a thin plate by a thin layer*. 2006.
- [213] A. RAHMOUNI, *An algebraic way to design perfectly matched layer, application to 2D linearized Euler equations*. LAGA, Université Paris 13, 2002.
- [214] P. SABLONNIÈRE, *Quasi-interpolants splines : exemples et applications*. Submitted to Proceedings RFMAO (Rabat, september 2005), Preprint IRMAR 05-39, 2005.
- [215] —, *A quadrature formula associated with a univariate quadratic spline quasi-interpolant*. Submitted, Preprint IRMAR 05-40, 2005.
- [216] —, *B-splines and Hermite-Padé approximations to the exponential function*. Submitted, Preprint IRMAR 06-39, 2006.

4 Ouvrages

- [217] Y. CAPDEBOSCQ ET M. S. VOGELIUS, *A review of some recent work on impedance imaging for inhomogeneities of low volume fraction*, in *Partial differential equations and inverse problems*, vol. 362 de Contemp. Math., Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2004, p. 69–87.
- [218] M. COSTABEL, *Time-dependent problems with the boundary integral equation method*, in *Encyclopedia of Computational Mechanics*, E. Stein, R. de Borst et T. J. R. Hughes, eds., John Wiley, 2004, chap. 25, p. 703–721.
- [219] —, *Some historical remarks on the positivity of boundary integral operators*, in *Boundary Element Analysis – Mathematical Aspects and Applications*, M. Schanz et O. Steinbach, eds., vol. 29 de Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Springer, Berlin, à paraître, chap. 1, p. 1–27.
- [220] M. COSTABEL ET M. DAUGE, *Computation of resonance frequencies for Maxwell equations in non-smooth domains*, in *Topics in computational wave propagation*, M. Ainsworth, P. Davies, D. Duncan, P. Martin et B. Rynne, eds., vol. 31 de Lect. Notes Comput. Sci. Eng., Springer, Berlin, 2003, chap. 4, p. 125–161.
- [221] M. DAUGE, E. FAOU ET Z. YOSIBASH, *Plates and shells : Asymptotic expansions and hierarchical models*, in *Encyclopedia of Computational Mechanics*, E. Stein, R. de Borst et T. J. R. Hughes, eds., vol. I, Wiley, 2004, chap. 8, p. 199–236.

- [222] P. DEGOND, F. MÉHATS ET C. RINGHOFER, *Quantum hydrodynamic models derived from the entropy principle*, in *Nonlinear partial differential equations and related analysis*, vol. 371 de *Contemp. Math.*, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2005, p. 107–131.
- [223] A. HENROT ET M. PIERRE, *Variation et optimisation de formes : une analyse géométrique*, *Mathématiques et Applications*, 48, Springer, 2005.

5 Thèses

- [224] P. BOISSOLES, *Problèmes mathématiques et numériques issus de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire*, Université de Rennes 1, Thèse, 2005.
- [225] T. BRIANÇON, *Problèmes de régularité en optimisation de formes*, Université de Rennes 1, Thèse, 2002.
- [226] E. FOUASSIER, *Analyse haute-fréquence de l'équation d'Helmholtz avec terme source*, Université de Rennes 1, Thèse, 2005.
- [227] T. HENRI, *Réduction de modèles par des méthodes de décomposition orthogonale propre.*, Insa de Rennes, Thèse, 2004.
- [228] G. VIAL, *Analyse multi-échelle et conditions aux limites approchées pour un problème avec couche mince dans un domaine à coin*, Université de Rennes 1, Thèse, 2003.

Chapitre 5

Invitations, coopérations

1 Accueil de chercheurs extérieurs

- A. Buffa, Université de Pavie (Italie), 2 semaines en septembre 2002.
- D. Boffi, Université de Pavie (Italie), 2 semaines en janvier 2003.
- I. Perugia, Université de Pavie (Italie), 2 semaines en mars 2003.
- A. McIntosh, Australian National University, Canberra, deux semaines en mai 2003.
- J. Rappaz, EPF Lausanne, 1 mois, juin 2003.
- A. Braides, Université de Rome 2, deux semaines en avril & 2003 et juillet 2003.
- G. Buttazzo, Université de Pise, 1 mois, 2003.
- R. Esposito, Université de L'Aquila, deux semaines en septembre 2003.
- M. Pulvirenti, Università Roma 'La Sapienza', deux semaines en mai 2004.
- V. Thomée, Chalmers University of Technology (Suède), deux semaines en mai 2004.
- P. Monk, Université de Delaware (USA), 2 semaines en juin 2004.
- F. Cakoni, Université du Delaware, deux semaines en juin 2004.
- M. Ainsworth, Université de Strathclyde (Glasgow, UK), 2 semaines en juillet 2004
- C. Schwab, ETH Zürich (Suisse), 1 semaine en juillet 2004 et 1 semaine en février 2005.
- O. Runborg, KTH Stockholm, deux semaines en novembre 2004.
- A. Novruzi, Université d'Ottawa, 15 jours en juin 2005.
- T. Lyche, Université d'Oslo, 2 semaines en juin 2005.
- C. Manni, Université de Rome II, Tor Vergata, 2 semaines en juin 2005.
- F. Pelosi, Université de Sienne, 1 mois en septembre 2005.
- D. Benedetto, Università Roma 'La Sapienza', deux semaines en octobre 2005.
- G. Milton, Université d'Utah, deux semaines en mai & juin 2006.
- J. Casado-Díaz, Université de Séville, deux semaines en juin 2006.
- L. Demkowicz, Université de Texas (Austin, USA), 2 semaines en juin 2006.
- F.-J. Sayas, Université de Saragosse (Espagne), 2 semaines en juin 2006.
- C. Makridakis, Université de Crète (Grèce), 2 semaines en juin 2006.

2 Invitations et participation à des congrès

A. BELMILOUDI

- 2002** Exposé invité à la session “*Infinite Dimensional Control Systems*” du *8th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (Szczecin, Poland).
- 2003** Deux exposés invités à la session “*Optimisation of Infinite Dimensional Systems*” du *9th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics* (Miedzyzdroje, Poland).
- 2004** Communications à : Workshop “*New applications of shape optimization*” (Toulouse); *Congrès Français de Thermique : “Transferts en Milieux Hétérogènes*” (Giens).
- 2005** Deux communications à la session spéciale “*Stabilisation, optimal and robust control problems with applications to physical and biological sciences*”, *WSEAS Inter. Conf. on Dynamical Systems and Control* (Venise, Italie).

V. BONNAILLIE-NOËL

- 2004** Exposé au GdR EAPQ (Université Paul Sabatier, Toulouse).
- 2005** Exposés invités : Workshop “*Regularity for nonlinear and linear PDEs in nonsmooth domains, Analysis, simulation and application*” (Hirschegg en Autriche); *Colloque EDP* (Forges-Les-Eaux); Workshop “*Problèmes spectraux non-linéaires et modèles de champs moyens*” (IHP, Paris).
- 2006** Poster au congrès d’analyse numérique (*CANUM 2006*, Guidel).

M. BRIANE

- 2003** Conférences invitées : Mini-symposium “*Material Science*” au congrès “*Applied Mathematics and Applications of Mathematics*” (Nice); *Journées d’Orléans en Homogénéisation* (Orléans).
- 2004** Communication au Congrès “*Midnight Sun Narvik Conference on Multi-scale Problems and Asymptotic Analysis*” (Narvik, Norvège). Conférence invitée au *Trento Workshop on Homogenization* (Trento, Italie).
- 2005** Conférence invitée au Congrès “*Equations aux dérivées partielles non linéaires*” (Tipaza, Algérie).

M. CAMAR-EDDINE

- 2005** *Workshop on Thin Structures* (Naples, Italie).

F. CASTELLA

- 2002** Conférence invitée au colloque “*Singular perturbations and propagation of waves*” (University North Carolina Wilmington, USA).
- 2003** Séjours invités à FORTH, Héraklion (1 semaine) et à l’Université de Rome ‘La Sapienza’ (1 semaine).
Conférences invitées aux colloques : *Odyn-II* (Marseille); “*Dynamique moléculaire*” (IHP, Paris).

2004 Séjours invités à l'Université de Rome 'La Sapienza' (1 semaine), l'Université de Bilbao (1 semaine) et au Morningside Center, Chinese Academy of Sciences, Pékin (2 semaines, pour délivrer un cours post-doctoral).

Conférences invitées au colloque "*Equations aux dérivées Partielles*" (Forges-les-eaux) et au CEMRACS (CIRM, Luminy).

Conférence plénière au CANUM 2004 (Obernai).

2005 Séjour invité à l'Université de Rome 'La Sapienza' (2 semaines).

Conférences invitées aux colloques : "*High Frequency Wave Propagation*" (University of Maryland, USA) ; "*Transfert Radiatif et Approximation de la Diffusion*" (CIRM, Luminy) ; "*Hyperbolic and Kinetic equations*" (Université de Rome) : "*Une Journée autour de l'Homogénéisation*" (Université de Versailles).

2006 Conférences invitées aux colloques : "Mathematical and Numerical Aspects of Quantum Chemistry Problems" (Oberwolfach, Allemagne) ; "Classical and Quantum Mechanical Models of Many-Particle Systems" (Oberwolfach (Allemagne)).

M. COSTABEL

2002 Exposés invités : Workshop "*Eléments finis et équations intégrales*" (Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand) ; *LMS Durham Symposium on Computational methods for wave propagation in direct scattering* (Durham, UK) ; Mini-Workshop "*Analytical and Numerical Treatment of Singularities in PDE*" (Oberwolfach) ; Workshop "*New Trends in Boundary Elements*" (Oberwolfach).

2003 Séjours invités : 2 semaines au Newton Institute, Cambridge (GB) dans le cadre du programme "*Computational Challenges in Partial Differential Equations*" ; 1 semaine au MSI (ANU Canberra, Australie).

Exposés invités : Workshop "*Operator Theory in Analysis and Engineering*" (Darmstadt, Allemagne) ; Colloquium dans le cadre du "*Deutsch-Französischer Diskurs – Dialogue franco-allemand*" (Saarbrücken, Allemagne) ; Minisymposium "*Finite Elements in Computational Electromagnetics*" à MAFELAP03 (Uxbridge, UK) ; Minisymposium "*Computational Electromagnetics and Related Topics*" au congrès ICIAM 2003 (Sydney, Australie) ; Workshop "*Contemporary computational mathematics*" (MSI, ANU Canberra, Australie) ; *International Conference "Potential Theory : Applications in Solid Mechanics and Acoustic and Electromagnetic scattering Theory"* (Tbilissi, Géorgie).

2004 Exposés invités : Workshop "*Computational Electromagnetism*" (Oberwolfach) ; Kolloquium "*Computational Electrodynamics*" (Hannover, Allemagne) ; Minisymposium "*High-Order Methods for Problems Involving Singularities and Dimension Reduction Methods*" à ICOSAHOM04 6th International Conference on Spectral and High-Order Methods (Brown University, RI, USA) ; Workshop en l'honneur de Wolfgang L. Wendland (Stuttgart, Allemagne).

2005 Séjour invité : 1 mois au MSI (ANU Canberra, Australie).

Conférence plénière à OTFUSA 2005 "*Conference on Operator Theory, Function Spaces and Applications*" (Aveiro, Portugal).

Exposés invités : BICOM-Workshop “*Boundary Elements*” (Brunel University, Uxbridge, UK); Minisymposium “*Aspects of hp-FEM : Singularities, Solvers and Thin Structures - Symposium in Honor of Prof. Ivo Babuska*” lors du Eighth U.S. Congress for Computational Mechanics (Austin, Texas); Workshop “*Regularity for nonlinear and linear PDEs in nonsmooth domains - Analysis, simulation and application*” (Hirschegg, Autriche); Rencontre GdR Anofor “*Optimisation de Formes et applications*” (IECN, Nancy).

2006 Conférence plénière invitée : Congrès “*IABEM 2006*” (Graz, Autriche).

Exposés invités : Minisymposium “*Boundary Element Methods : Theory and Applications*” à MAFELAP06 *Mathematics of Finite Elements and Applications* (Uxbridge, UK); Workshop “*Analysis of Boundary Integral Equations and Boundary Element Methods*” (Linz, Autriche); Workshop “*Applicable Analysis*” (Stuttgart, Allemagne).

M. CROUZEIX

2002 Conférence invitée au *1st Workshop in Numerical Methods for Evolution Equations in Crete*.

2003 Séjours à l’Université de Pavie (2 semaines) et à l’EPF Lausanne (2 semaines).
Conférence invitée à “*Espaces d’opérateurs*” (CIRM, Luminy).

2004 Séjours aux Universités de Valladolid (2 semaines) et de Leiden (1 semaine).

Conférences invitées à : *Journée corps convexes et Théorie des opérateurs* (Paris); “*Stability of Numerical Methods for Time-Dependent Differential Equations*” (Leiden); *2nd Workshop in Numerical Methods for Evolution Equations in Crete*; “*Regularity and Singularities in Shape Optimization and Free Boundaries*” (ENS Cachan-Bretagne, Bruz).

2005 Séjours à l’Université de Héraklion (2 semaines) et à l’EPF Lausanne (2 semaines).
Conférences invitées à : “*Semi-groupes d’opérateurs, équations d’évolution et Théorie spectrale en physique mathématique*” (CIRM, Luminy); *Journée d’analyse fonctionnelle* (Lille).

2006 Séjours aux Universités de Leeds (2 semaines), de Héraklion (2 semaines) et de Ioannina (1 semaine).

Conférences invitées à : *Geometric Aspects of PDE and Applications* (Metz); *LMS workshop on Functional Analysis* (Leeds); *8th Workshop on Numerical Ranges and Numerical Radii* (Bremen); *3rd Workshop in Numerical Methods for Evolution Equations in Crete*.

E. DARRIGRAND

2004 Séjours invités au Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics (WIAS) de Berlin (3 semaines), à l’université de Göttingen (1 semaine), au Max-Planck-Institute de Leipzig (1 semaine).

Exposé à “*Boundary Integral Methods*” (IMA - Reading, UK).

2005 Séjour invité à l’université du Delaware, USA (2 semaines).

Exposé invité à un minisymposium du congrès *GAMM 2005* (Luxembourg).

Exposé à *WAVES 2005* (Brown, USA).

2006 Exposé invité à un minisymposium du *Canum 2006* (Guidel).

M. DAUGE

2002 Séjours invités à College Park (Maryland), University of Maryland Baltimore County et University of Delaware (USA), 2 semaines en tout.

Exposés invités au *LMS Durham Symposium on Computational methods for wave propagation in direct scattering* (Durham, UK) et au Workshop “*Problems in Electromagnetism*” (Trento, Italie).

2003 Séjour invité de 2 semaines au Newton Institute, Cambridge (GB) dans le cadre du programme “*Computational Challenges in Partial Differential Equations*”.

Exposés invités : Minisymposium “*Finite Elements in Computational Electromagnetics*” à *MAFELAP03* (Uxbridge, UK) ; WE-Heraeus-Seminar “*Adaptivity in Finite Element Analysis : Models, Meshes and Polynomial Order*” (Bad Honnef, Allemagne) ; *International Conference “Potential Theory : Applications in Solid Mechanics and Acoustic and Electromagnetic scattering Theory*” (Tbilissi, Georgie).

2004 Exposés invités : Minisymposium “*Finite element methods for electromagnetism*” à *WONAPDE 2004* (Concepcion, Chili) ; Workshop “*Computational Electromagnetism*” (Oberwolfach) ; *Workshop on Applied Analysis* (Stuttgart, Allemagne) ; *3rd Danish Symposium on Applied Analysis* (Copenhague, Danemark). Rencontre GdR Anofor “*Régularité et singularités en optimisation de forme et frontières libres*” (ENS Cachan-Bretagne, Bruz).

Conférence plénière invitée : *6th International Conference on Spectral and High-Order Methods* (Brown University, RI, USA).

2005 Séjours invités : Pavie, laboratoire IMATI-CNR (1 semaine), Université de Zürich (1/2 semaine).

Exposés invités : *Journées de Metz 2005 “Analytic and Computational Problems in Spectral Theory and Applications”* (Metz) ; Minisymposium “*Aspects of hp-FEM : Singularities, Solvers and Thin Structures - Symposium in Honor of Prof. Ivo Babuska*” lors du Eight U.S. Congress for Computational Mechanics (Austin, Texas) ; Workshop “*Regularity for nonlinear and linear PDEs in nonsmooth domains - Analysis, simulation and application*” (Hirschegg, Autriche) ; Minisymposium “*Numerical Methods in Electromagnetics*” à la conférence *ICEAA'05 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications* (Turin, Italie).

2006 Exposé au minisymposium “*Finite Elements for Maxwell's Equations and Electromagnetics*” à *MAFELAP 2006 Mathematics of Finite Elements and Applications* (Uxbridge, UK).

M.M. DERRIENNIC

2004 Exposé à *5th International Conference on Functional Analysis and Approximation Theory* (Acquafredda di Maratea, Italie).

2005 Conférence invitée à *VI International Meeting on Approximation Theory* of the University of JAEN (Espagne).

E. LE GRUYER

2004 Conférences invitées aux congrès : “*Numerical Methods for Viscosity Solutions and Applications*” (Universita La Sapienza, Rome) ; “*The p -Laplace equation, the infinity-Laplace equation and related topics*” (Linköping, Suède)

C. LE GUYADER

2006 Communication à la *Sixth International Conference on Curves and Surfaces* à Avignon.

F. MAHÉ

2005 Communication à “*Numerical Resolution of Long Waves in a Shallow-Water Type Model*”, *International Symposium on Nonlinear Dynamics* (Shanghai, Chine).

F. MÉHATS

2006 Séjour invité au Weierstrass Institute, Berlin (deux semaines).

Exposé invité à *Nonlinear PDEs : Homogenization and Kinetic Equations* (Vienne, Autriche).

J.L. MERRIEN

2004 Conférences invitées : Congrès *MAIA 2004* à Université d’Hohenheim (Stuttgart) ; *Workshop on Subdivision* (Univ. d’Oslo, Norvège).

2005 Séjours invités à Oslo (Norvège), à Sherbrooke et Montréal (Canada).

2006 Séjour invité à Oslo (Norvège)

M. PIERRE

2003 Conférences invitées : *Journées Bordelaises* ; Conférence Internationale “*Optimisation de formes*” (CIRM, Luminy) ; International Conference on “*Nonlinear Partial Differential Equations*” (Alushta, Ukraine) ; International Workshop on “*Differential equations in Biology and Medicine*” (Bedlewo, Pologne).

2004 Séjour invité d’une semaine à l’Université d’Ottawa (mini-cours intensif).

Conférences invitées : Minisymposium en l’honneur de H. Brezis, Gaeta ; Journées EDP, Montpellier.

2005 Séjour invité d’un mois à l’Université d’Helsinki ; de deux semaines au Maroc (universités de Marrakech, Casablanca et Errachidia).

Conférences invitées : Journées de Metz, “*Problèmes de valeurs propres et Applications*” ; Rencontre “*Sur les problèmes non linéaires en Mécanique*” Errachidia ; Workshop “*Infinite energy solutions of partial differential equations and related topics*” Cortona ; Workshop “*New Trends in Simulation and Control of PDEs*” Weierstrass Institute Berlin ; International Conference on “*Nonlinear Parabolic Problems*” Helsinki.

2006 Séjour invité d’une semaine à l’Université Technologique de Berlin.

Conférences invitées : Journées de Nice “*Problèmes inverses, Contrôle et Optimisation de formes*” ; 6ème Journée “*Calcul Scientifique et Modélisation Mathématique*” Amiens.

P. SABLONNIÈRE

2002 Séjours invités : une semaine à l'Université d'Oujda (Maroc), et deux semaines à l'Université de Grenade (Espagne).

Conférencier invité IDoMAT, Dortmund.

2003 Séjours invités : une semaine à l'université de Turin, et un mois à l'université de Duisburg. Exposés aux séminaires de Duisburg, Dortmund, Hagen et Giessen.

Conférencier invité au 4th Meeting on Approximation Theory d'Ubeda (Espagne), et au congrès Splines and Wavelets, St Petersburg.

2004 Séjours invités : une semaine à l'université de Turin, une semaine à l'Université de Conakry (Guinée), une semaine à l'Université d'Oujda (Maroc) – cours de doctorat, 2 semaines à l'Université de Rome II Tor Vergata et à l'Université de Sienne – séminaires dans les deux universités et à Florence, une semaine à l'Université d'Oslo.

Conférencier invité au 5th Meeting on Approximation Theory d'Ubeda et au colloque MAIA, Hohenheim.

2005 Séjours invités : une semaine à l'université de Turin, 2 semaines à l'Université de Rome, La Sapienza et Tor Vergata, trois semaines à l'Université de Grenade (Espagne).

Conférencier invité au congrès FOCM de Santander (Juillet 2005).

2006 Séjour invité d'une semaine à l'Université d'Oujda (Maroc) – cours de doctorat.

Conférencier invité au congrès Recent Progress in Spline and Wavelet Approximation, Rome (Juin 2006), et au Colloque AMI06 en l'honneur de Claude Brézinski, Université de Lille (Juin 2006).

Poster à l'ICM Madrid (Août 2006).

R. TEXIER-PICARD

2004 Exposé invité au colloque “*Modèles d'interfaces diffuses*” (Lyon).

G. VIAL

2002 Exposé au mini-workshop “*Numerical treatment of singularities in PDE*” (Oberwolfach, Allemagne).

2003 Poster au congrès d'analyse numérique (CANUM 2003, La Grande Motte) ; Exposé au mini-symposium “*Computational electromagnetism*” (Mafelap, Brunel university, Grande-Cachan) ; Exposé au GdR EAPQ (CIRM, Marseille).

2004 Exposés invités : Séminaire “*Advanced Computations and Modelling*” (ANU, Canberra, Australie) ; Minisymposium “*Traitement analytique et numérique des singularités des problèmes elliptiques*” (Canum 2004, Obernai) ; Congrès “*Régularité et singularités en optimisation de forme et frontières libres*”, dans le cadre du GdR ANOFOR (ENS Cachan-Bretagne, Bruz) ; Mini-workshop “*Shape Optimization*” (Oberwolfach, Allemagne).

2005 Exposé invité aux Journées de Metz “*Problèmes aux valeurs propres*” (Metz) ; Posters au congrès d'analyse numérique (CANUM 2006, Guidel).

2006 Exposé invité au workshop “*Applications of Asymptotic Analysis*” (Oberwolfach, Allemagne).

J.P. YVON

2004 Conférencier invité au colloque *MathGeo 04* organisé en l’honneur du Professeur Guy Chavent, INRIA Rocquencourt.

2005 Conférencier invité à la session spéciale : “*Stabilisation, optimal and robust control problems with applications to physical and biological sciences*”, WSEAS - Int. Conf. on Dynamical systems and Control (Venise).

3 Coopérations

Action intégrée franco-marocaine ENS Cachan/IRMAR – FST de Marrakech :

De 2001 à 2005, sur le thème *Équations aux dérivées partielles non linéaires et applications*, en collaboration avec des équipes de Paris 11 et de Nancy.

N. Alaa, Université de Marrakech, a été accueilli à plusieurs reprises pour des séjours de 15 jours (2002-2004-2005) dans le cadre de cette action intégrée.

M. Rihani a été accueilli pendant 3 ans à l’ENS Cachan/IRMAR (2001-2004) en détachement de son poste à Casablanca.

L. Rahmani, Université de Tizi-Ouzou, est accueillie une fois par an (séjours d’un mois en juin-juillet 2002, juin-juillet 2003, février 2004, septembre 2005).

Chapitre 6

Organisation de séminaires et congrès

L'équipe participe régulièrement à deux séminaires, voir §1.

En 2005-2006, l'ensemble de l'équipe s'est investi dans l'organisation du Congrès National d'Analyse Numérique et des journées en l'honneur de M. CROUZEIX, voir §2.

Certains de ses membres ont organisé ou co-organisé des rencontres, voir §3

1 Séminaires

Les membres de l'équipe ont deux rendez-vous hebdomadaires :

- Le mercredi à 14h30 à l'Antenne de l'ENS Cachan sur le site de Ker Lann (Bruz) pour le Groupe de Travail "Applications des mathématiques". Lien :
`www.bretagne.ens-cachan.fr/math/navig.php?id=rech_gdt`
- Le jeudi à 11h15 sur le site de la Tour de Maths à Beaulieu pour le Séminaire d'Analyse Numérique. Lien :
`anum-maths.univ-rennes1.fr/seminaire.html`

1.A Groupe de Travail

Le Groupe de Travail a débuté en 1999 et est devenu hebdomadaire en septembre 2001 ; il est aujourd'hui organisé par V. BONNAILLIE-NOËL et G. VIAL. Les thèmes abordés concernent l'analyse et l'analyse numérique en privilégiant les interactions avec d'autres disciplines (physique, biologie, nanotechnologies, halieutique, etc). À l'avenir, les échanges transdisciplinaires et l'ouverture vers les aspects stochastiques seront renforcés. Pendant les quatre années de la période de référence, 92 séances ont eu lieu avec, notamment, les invitations des chercheurs extérieurs suivants.

2002-2003 20 séances en tout. Invités extérieurs :

Jacques Rappaz (EPFL, Lausanne), Bruno Le Pioufle (Biomis, ENS Cachan, Bruz), Christophe Dupont (Univ. Toulouse), Yann-Hervé De Roeck et Franck Dumas (IFREMER, Brest), Olivier Bokanowski (Univ. Paris 6), Paul-Louis George (INRIA, Rocquencourt), Daniele Boffi (Pavie, Italie), Stéphanie Lohrengel (Univ. Nice), Andrea Venturelli (ENS

Cachan, Bruz), Marc Dambrine (UTC, Compiègne), Pierre Ailliot et Marc Prevosto (IFREMER, Brest), Giuseppe Buttazzo (Univ. Pise, Italie), Florian Caro (CEA, Saclay).

2003-2004 28 séances en tout. Invités extérieurs :

Caroline Jullien (Biomis, ENS Cachan), Marie Frénéa (Biomis, ENS Cachan), François Alouges (Univ. Paris Sud), Dominique Chapelle (INRIA Rocquencourt), Tanguy Briançon (IUFM Créteil), Giuseppe Buttazzo (Univ. Pise), Colette Guillopé et R. Talhouk (Univ. Paris XII et Univ. Beyrouth), Florence Allègre (Univ. Marseille), Nouredine Igbida (Univ. Picardie), Antoine Mellet (Univ. Texas, Austin), Christine Bernardi (Univ. Paris VI), Benjamin Texier (Univ. Bloomington, Indiana), Jaime Ortega (Univ. de Chile), Alessandra Cutri (Univ. Rome), Antoine Rousseau (Univ. Paris Sud), Judith Vancostenoble (MIP, Toulouse), Marco Fuhrman (Politecnico di Milano), Patrick Martinez (MIP, Toulouse).

2004-2005 22 séances en tout. Invités extérieurs :

Philippe Marmottant (Laboratoire de Spectrométrie Physique, UJF, Grenoble), Franck Sueur (CMI, Univ. Marseille), Isabelle Cantat (GMCM, Univ. Rennes 1), Frédéric Pascal (Université Paris Sud), David Gérard-Varet (ENS, Paris), Olivier Saut (INSA, Toulouse), Sébastien Tordeux (INRIA, Rocquencourt), Jean-Paul Chehab (Univ. Lille 1), Éric Dumas (UJF, Grenoble), David Chiron (Univ. Paris 6), Patrick Joly (INRIA, Rocquencourt), Antoine Laurain (IECN, Nancy), Jérôme Coville (CEREMADE, Paris IX), Jérôme Droniou (Univ. Montpellier II), François Loret (POEMS, Paris), Philippe Chartier (IRISA, Rennes), Laurent Desvillettes (ENS Cachan).

2005-2006 22 séances en tout. Invités extérieurs :

Vincent Pavan (UTC Compiègne), Vincent Torri (Univ. Évry Val d'Essonne), Pierre Degond (Univ. Paul Sabatier, Toulouse), Morgan Pierre (Univ. Poitiers), Frédéric Rousset (Univ. Nice), Alain Prignet (Univ. Marne-la-Vallée), Tony Lelièvre (ENPC, Marne-la-Vallée), Laurent Chupin (INSA Lyon), Alexandre Popier (École Polytechnique, Palaiseau), Pierre Del Castillo (Univ. de Picardie), Frédéric Serier (Univ. Zürich), Arnaud Munch (Univ. Franche-Comté), Philippe Souplet (Univ. Paris Nord), Véronique Bagland (MIP, Université Paul Sabatier, Toulouse), Bernard Dacorogna (EPFL, Lausanne), Rachid Touzani (Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand), Charles Baroud (École Polytechnique, Palaiseau), Yves Achdou (Univ. Paris VI), Thierry Colin (Univ. Bordeaux 1), Régis Monneau (ENPC, Marne-la-Vallée).

1.B Séminaire d'Analyse Numérique

D'une tradition plus ancienne que le groupe de travail, le séminaire d'Analyse Numérique rassemble l'équipe une fois par semaine depuis le début des années 90. Dans la période de référence, il a été organisé par F. CASTELLA et J. VOVELLE. En janvier 2004 et en janvier 2005 la séance du séminaire a été remplacée par une journée "Nantes-Rennes" proposant 4 exposés par des membres de l'IRMAR et du laboratoire Leray de Nantes. Voici un extrait des invitations au séminaire dans la période 2002-2006.

2002-2003 environ 30 séances, avec notamment :

O. Runborg (NADA - KTH - Stockholm), E. Cances (CERMICS - Ponts et Chaussées -

Marne La Vallée), D. Lannes (CNRS et Univ. Bordeaux I), H. Leblond (Univ. Angers), M. Puel (Univ. Paris Dauphine), E. Becache (INRIA Rocquencourt), S. Bertoluzza (Pavie), M. Pulvirenti (Rome - "La Sapienza"), C. Lubich (Tübingen), S. Boatto (Evry), C. Manni (Rome 2, Tor Vergata), M. Vogelius (Rutgers)

2003-2004 environ 25 séances, avec notamment :

R. Esposito (L'Aquila), M. Lenoir (SMP/ENSTA, Paris), J. Printems (Paris XII), F. Mehats (Toulouse III), T. Lelièvre (CERMICS - Marne-la-Vallée), B. Texier (Bloomington - Indiana), V. Moumas (UTC, Compiègne), J. Droniou (Montpellier II), K. Ramdani (Loria - Nancy), N. Besse (IRMA - Strasbourg), A. Piatnitski (Narvik, Norvège), V. Thomée (Göteborg)

2004-2005 environ 25 séances, avec notamment :

A. Novruzi (Univ. d'Ottawa), M. Camar-Eddine (Utah), N. Seguin (Paris 6), S. Mancini (Orléans), M. Ribot (Nice), M. Ismail (Paris 6), E. Dumas (Grenoble), M. Boulakia (Versailles), O. Glass (PARIS 6), H. Zaag (ENS Paris), B. Mauroy (Paris 6), P. Godillon (Lille), S. Descombes (ENS Lyon)

2005-2006 environ 25 séances, avec notamment :

J. C. Diaz (Univ. de Séville), F. Lagouttiere (Paris 6), P. Fabrie (MAB - Bordeaux I), F. James (Orléans), M. Lemou (MIP - Toulouse III), B. Graille (Orsay), J.-D. Benamou (Inria - Rocquencourt), B. Maury (Orsay), C. Chalons (Paris 6 et Paris 7), M.-H. Vignal (Toulouse III), G. Barles (Tours), L. Saint-Raymond (Paris 6), F. Coquel (Paris 6), F. Hamel (Marseille).

2 Canum 2006 et Journées en l'honneur de Michel Crouzeix

L'équipe s'est investie pendant un an, de juin 2005 à juin 2006 dans l'organisation de deux manifestations scientifiques importantes, qui ont pu être combinées – l'une faisant suite à l'autre sur le même site.

2.A Canum 2006 : 38ème Congrès d'Analyse Numérique

Site web `canum2006.univ-rennes1.fr`

Organisé chaque année par un laboratoire de mathématiques appliquées sous l'égide de la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI), le Congrès National d'Analyse Numérique *Canum* permet aux universitaires, chercheurs et industriels concernés par l'analyse numérique de se rencontrer. Il vise à faire le point sur les développements récents dans le domaine de l'analyse numérique, et plus généralement des mathématiques appliquées en couvrant aussi bien les aspects théoriques que pratiques. Il est l'occasion pour chacun de diffuser ses travaux récents et, en particulier pour les jeunes chercheurs, de se faire connaître et de nouer des contacts avec le monde de la recherche, tant fondamentale qu'appliquée et industrielle.

Le Canum 2006 s'est déroulée à Guidel (Morbihan), du lundi 29 mai après-midi au vendredi 2 juin matin. Le comité d'organisation, sous la responsabilité de G. CALOZ, a pris en charge

tous les aspects matériels de la manifestation : gestion des inscriptions, publications des actes et du programme, communications, réservations auprès du VVF, matériels informatiques, etc...

Les différentes composantes de l'équipe étaient représentées dans le comité scientifique au travers de M. BRIANE (INSA), G. CALOZ et M. DAUGE (Rennes 1), M. PIERRE (ENS Cachan), les autres membres étant : F. Alouges (Paris-Sud 11), J.-M. Hérard (Univ. de Provence), P. Joly (INRIA Rocquencourt), M. Masmoudi (INSA de Toulouse), V. Perrier (INP Grenoble), et D. Serre (ENS Lyon).

Le comité scientifique a décidé des invitations aux 10 conférences plénières : ce choix a été fait de manière à couvrir un large spectre de thématiques en mathématiques appliquées : contrôle, homogénéisation, transport optimal, modélisation mathématique en physique, propagation des ondes, bio-mathématiques, schémas numériques pour les équations différentielles.

Le comité scientifique a aussi proposé des thèmes et des organisateurs pour les 6 minisymposia. Ces thèmes ont été choisis avec le souci de les orienter vers les applications industrielles et les animateurs de chacun d'eux ont invité un ou deux orateurs issus du monde industriel. Voici la liste des thèmes : méthodes multipôles ; optimisation de forme ; méthodes numériques appliquées aux antennes, à la propagation et à la CEM ; modélisation et simulation numérique de matériaux ferromagnétiques ; simulation moléculaire ; mer-halieuistique.

Les participants au Canum ont eu la possibilité de soumettre une communication au comité scientifique. La branche locale du comité en a contrôlé la qualité. 141 communications ont été soumises et 131 retenues, réparties en 72 communications orales et 59 posters. Les communications orales ont été programmées dans 12 séances selon leurs thématiques et les posters ont été présentés dans les deux séances dédiées. Un jury poster a décerné 5 prix pour récompenser les meilleurs présentations.

L'essentiel de l'organisation pratique du Canum 2006 a été réalisé via une interface php par Y. LAFRANCHE et D. MARTIN, depuis le stade préparatoire (été 2005) jusqu'à la conclusion de l'événement en juin 2006. Ceci inclut le site web, l'inscription en ligne, la gestion financière, l'édition des résumés et du programme. Les fichiers des transparents et des posters ont été collectés et mis en ligne à l'issue de la manifestation par V. BONNAILLIE-NOËL et G. VIAL.

Le Canum 2006 a été fréquenté par 220 personnes par jour en moyenne.

2.B Journées Scientifiques en l'honneur de Michel Crouzeix

À l'issue du Canum, les Journées d'analyse fonctionnelle et numérique en l'honneur de Michel Crouzeix, du 2 juin au matin jusqu'au 3 juin, midi, ont amplifié le caractère international de l'ensemble de la manifestation. Leur comité scientifique était distinct de celui du Canum. Il était formé des quatre membres locaux du comité Canum auxquels se sont ajoutés M. COSTABEL, et P. Chartier et B. Philippe de l'IRISA.

Les Journées Scientifiques ont consisté en une série de 12 conférences plénières par des orateurs venant d'Italie, USA, Suisse, Grèce, Espagne, Suède, Hollande, et aussi de France. Elles ont rassemblé environ 110 participants.

Les deux rencontres ont vu la participation de plus de 250 personnes en tout durant la semaine.

Un travail éditorial a été entrepris par G. CALOZ et M. DAUGE à l'issue de ces deux rencontres, pour rassembler des contributions relatives à toutes les séances plénières et aux mini symposiums du Canum. Après un processus d'évaluation standard par des rapporteurs, les contributions seront publiées dans la revue ESAIM Proc de la SMAI.

3 Autres manifestations

3.A Manifestations organisées dans le cadre d'un GdR

Dans le cadre du GdR **GRIP** : F. CASTELLA a organisé avec F. Golse la conférence internationale "Systèmes à grand nombre de particules : approches déterministes et stochastiques" à Rennes en 2004. 50 participants. Actes publiés dans *Comm. Math. Sci.*

F. CASTELLA a co-organisé l'école d'été du GdR **EAPQ** à la station biologique de Roscoff en 2004. 70 participants.

Dans le cadre du GdR **ANOFOR**, M. PIERRE et G. VIAL ont organisé avec G. David et A. Henrot la rencontre internationale "Régularité et singularités en optimisation de forme et frontières libres", à l'ENS Cachan en octobre 2004. Site web www.bretagne.ens-cachan.fr/math/archives/GDR_ANOFOR

F. CASTELLA a co-organisé l'école d'été du GdR **CHANT**, à la station biologique de Roscoff en 2006. 40 participants.

3.B Manifestations récurrentes

Curves and Surfaces : J.L. MERRIEN et P. SABLONNIÈRE sont co-organisateurs des congrès internationaux "Courbes et Surfaces" à Saint Malo en 2002 et Avignon en 2006. Ces congrès font suite à ceux de Chamonix (1990, 1993, 1996) et de Saint Malo (1999). Ils rassemblent environ 300 participants sur des thèmes très variés allant de la Théorie de l'Approximation au Dessin Géométrique assisté par ordinateur.

J.L. MERRIEN est co-éditeur avec A. Cohen et L.L. Schumaker de l'un des deux volumes des actes de la conférence de Saint Malo 2002 : *Curve and Surface Fitting* Saint-Malo 2002, (publié en 2003 chez Nashboro Press). Il sera aussi co-éditeur d'une partie des actes de la conférence d'Avignon.

Y. LAFRANCHE a élaboré pour les deux éditions de la conférence les deux brochures distribuées aux participants, à savoir le programme de la conférence et le recueil des résumés des présentations.

Journées Singulières M. COSTABEL et M. DAUGE font partie du comité scientifique des rencontres internationales "Journées Singulières", en août 2002 au Tronchet et juin 2004 à Pont-à-Mousson (une trentaine de participants). M. DAUGE a organisé la rencontre du Tronchet, et co-organisé avec S. Brenner et A. Sändig, le mini-workshop "Analytical and Numerical Treatment of Singularities in Partial Differential Equations" à Oberwolfach. Voir le site web :

perso.univ-rennes1.fr/monique.dauge/JS5

Ateliers Mélina organisés par D. MARTIN. Le 3ème Atelier (en mai 2005, au Croisic), après les éditions de 2000 et 2001, a réuni 30 utilisateurs du code MÉLINA, cf §7. Cet atelier a connu un format hybride : exposés scientifiques illustrés de résultats issus du code Fortran, cours (assuré par D. MARTIN) et travaux pratiques, et présentation du noyau de la version C++. Site web

perso.univ-rennes1.fr/daniel.martin/atelier_melina/2005

Doctoriales Bretagne G. CALOZ a été responsable du comité de pilotage des Doctoriales 2004 à Lannion (une semaine), qui ont regroupé 90 doctorants venant de toutes les disciplines. G. CALOZ a aussi fait partie du comité de pilotage des éditions 2002, 2003 et 2005.

3.C Autres manifestations

M. CROUZEIX a organisé avec C. Palencia (Valladolid) deux minisymposium au congrès ICIAM, (Sydney, 2003) sur le thème : “Holomorphic Calculus and Applications”.

P. SABLONNIÈRE a participé à l’organisation du congrès *Mamern’05* (Oujda, mai 2005).

F. CASTELLA a organisé avec B. Engquist, O. Runborg, et E. Tadmor, la rencontre internationale “High Frequency Wave Propagation” (University of Maryland, USA, 2005). 40 participants.

F. CASTELLA a organisé avec M. Gutnic, S. Salmon, E. Sonnendrücker, la rencontre internationale “Méthodes numériques pour les équations cinétiques, hyperboliques, et de Hamilton-Jacobi”, (Université de Strasbourg, 2005). 40 participants.

A. BELMILOUDI a organisé la session “Stabilisation, optimal and robust control problems with applications to physical and biological sciences” dans le cadre de la première conférence internationale “WSEAS Inter. Conf. on Dynamical Systems and Control” (Venise, novembre 2005).

M. PIERRE a organisé avec P. Cardaliaguet une session spéciale à la 6ème Conférence Internationale AIMS sur le thème “Shapes and Free Boundaries”, à Poitiers en juin 2006.

F. CASTELLA a organisé avec S. Descombes, la rencontre internationale “Structure preserving schemes for evolution equations”, ENS Lyon (2006). 40 participants.

Chapitre 7

Autres activités

1 Participation à des ACI

- M. BRIANE a assuré la coordination de l'ACI-NIM n° 2003-45, "*lepoumonvousdisje*" (gros projet, 140 k€) sur la modélisation du système respiratoire, de septembre 2003 à 2006. Le projet regroupe trois laboratoires : Jacques-Louis Lions (Paris), l'IRMAR, et les Techniques de l'Imagerie, de la Modélisation et de la Cognition (Grenoble). L'équipe rennaise comporte actuellement deux membres N. TCHOU et M. BRIANE (après le départ de Y. CAPDEBOSCQ en mutation) qui travaillent sur la modélisation de l'arbre bronchique à partir de techniques d'homogénéisation adaptées à des domaines auto-similaires. En juillet 2006, le projet a obtenu de l'ANR une prolongation d'un an jusqu'en septembre 2007, pour finaliser les travaux en cours. Comme l'équipe parisienne concentre à présent l'essentiel des membres du projet, la coordination de l'ACI sera assurée par B. Maury (université Paris 11) pour la dernière année.
- F. CASTELLA a dirigé l'ACI jeunes chercheurs "*Méthodes haute-fréquence pour les équations différentielles ordinaires, et aux dérivées partielles. Applications*", 2003-2006. Ce projet a rassemblé : B. Bidégaray (Grenoble), Y. Capdeboscq (Versailles), P. Chartier (Rennes), E. Dumas (Grenoble), E. Faou (Rennes), E. Fouassier (Lyon), E. Frénod (Vannes), T. Goudon (Lille), M. Puel (Toulouse).
- F. MÉHATS est le responsable de l'ACI Jeunes Chercheurs JC 1035 "*Modèles dispersifs vectoriels pour le transport à l'échelle nanométrique*" (40 k€ sur 3 ans, début en 2004).
- E. DARRIGRAND est membre depuis 2004 de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques 0-2004 "*Analyse numérique, simulation et contrôle pour la chimie ; application en sciences du vivant et sciences des matériaux*". Action pluridisciplinaire (représentée par 8 équipes différentes dont deux en physique, une en chimie et cinq en mathématiques) concernant la simulation numérique à l'échelle moléculaire.
- F. MÉHATS est membre depuis 2004 de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques 176-2004 "*Modélisation et simulation du transport quantique dans les nano-composants électroniques ; modèles balistiques, collisionnels, transport de spin*". Action pluridisciplinaire entre la laboratoire MIP (mathématiques appliquées, Toulouse) et l'IMEP (microélectronique, Grenoble).

2 Participation à des projets ANR

- V. BONNAILLIE-NOËL est responsable du projet Jeunes Chercheurs **MACADAM** (Multiscale Asymptotics and Computational Approximation for surface Defects and Applications in Mechanics). Ce projet (JCJC06-139561) est financé par l'ANR à partir de 2006 à hauteur de 47 k€. G. VIAL y participe aussi. Les autres membres du projet sont D. Brancherie (ROBERVAL, Compiègne), M. Dambrine (LMAC, Compiègne) et S. Tordeux (MIP, Toulouse). Ce projet propose d'étudier le comportement mécanique de structures qui présentent naturellement plusieurs échelles (aspérités de surface, bulles de gaz dans un matériau, ...). Les outils mathématiques en jeu concernent l'analyse multi-échelle, l'approximation numérique par méthodes d'éléments finis ; des contributions au code MÉLINA cf §7, sont envisagées dans ce cadre.
- R. TEXIER-PICARD et J. VOVELLE participent au programme Jeunes Chercheurs **SCASEN** (Singularités et Comportement Asymptotique des Solutions d'Euler et de Navier-Stokes).
- F. CASTELLA et M. CROUZEIX sont membres du projet **INGEMOL**, financé par l'ANR depuis 2005, et dirigé par P. Chartier.

3 Responsabilités dans des GdR

- F. CASTELLA est directeur du GdR CNRS 2900 **CHANT** “*Équations Cinétiques et Hyperboliques : Aspect Numériques, Théoriques, et de Modélisation*”, qui rassemble environ 250 scientifiques issus d'une vingtaine de laboratoires en France. Le Comité Scientifique est composé de G. Barles, F. Bouchut, C. Le Bris, N. Mauser, G. Métivier, F. Otto, E. Sonnendrücker, C. Villani. Durée prévue : 4 ans.
- F. CASTELLA est membre depuis 2003 du comité d'organisation du GdR **GRIP** (Systèmes de Particules - dirigé par T. Goudon).
- V. BONNAILLIE-NOËL est responsable locale du GdR **MOAD** (Modélisation, Asymptotique, Dynamique non-linéaire).

4 Collaboration avec l'IRISA

- F. CASTELLA était membre du contrat INRIA d'Action de Recherche Coopérative **PRESTIS-SIMO** “*PRogramme d'Etude de Schémas et Techniques d'Intégration Symplectique pour la SIMulation MOLéculaire*” coordonné par E. Faou (2002-2004). Ce contrat impliquait en plus P. Chartier à Rennes, et E. Cancès, C. Le Bris, F. Legoll, et G. Turinici au CERMICS.
- F. CASTELLA et M. CROUZEIX sont membres du projet INRIA **IPSO** “*Méthodes numériques préservant les invariants*” créée en 2004, dirigé par P. Chartier. Le 4e membre à l'IRISA est E. Faou.
- F. CASTELLA a participé à un contrat avec la société ALCATEL (2003-2006), pour la simulation de composants optiques. Ce contrat implique, à Rennes : P. Chartier, E. Faou, à Marcoussis : D. Bayart, C. Martinelli, F. Leplingard.

5 Encadrement

5.A Encadrement de doctorants au sein de l'IRMAR

5.A.a) Thèses en cours

- F. FENDT est encadrée par F. MÉHATS depuis sept. 2006.
- E.H. KONÉ est encadré par M. COSTABEL (co-encadrement par E. DARRIGRAND) depuis nov. 2005.
- J. LAMBOLEY est encadré par M. PIERRE depuis oct. 2005.
- N. LANDAIS est encadré par M. PIERRE depuis oct. 2004.
- F. LE LOUËR est encadrée par M. COSTABEL depuis oct. 2006.
- D. MANCEAU est encadré par M. BRIANE depuis sept. 2004.
- V. PERON est co-encadré par M. DAUGE et G. CALOZ depuis oct. 2006.
- A. RASHEED est encadré par A. BELMILOUDI depuis sept. 2006 dans le cadre d'une bourse doctorale HEC (Higher Education Commission) Franco-Pakistanaise.

5.A.b) Thèses soutenues

- T. BRIANÇON a été encadré par M. PIERRE. A soutenu en juillet 2002.
- G. VIAL a été encadré par G. CALOZ et M. DAUGE. A soutenu en juin 2003.
- T. HENRI a été encadré par J.P. YVON. A soutenu en 2004.
- P. BOISSOLES a été encadré par G. CALOZ. A soutenu en déc. 2005.
- E. FOUASSIER a été encadrée par F. CASTELLA. A soutenu en déc. 2005.

5.B Encadrement de doctorants extérieurs à l'IRMAR

- O. Nouisser et E. Ameer ont été co-encadrés par P. SABLONNIÈRE et D. Sbibi à l'Université d'Oujda, Maroc. Thèses soutenues en 2002.
- M. Rihani a été encadré par M. PIERRE pour sa thèse de doctorat d'état marocain, soutenue à l'université Hassan II Mohammedia de Casablanca en janvier 2004.
- F. Bachmann a été co-encadrée par J. VOVELLE et T. Gallouet à Aix-Marseille 1. A soutenu en déc. 2005.
- N. Vauchelet est co-encadré par F. MÉHATS et N. Ben Abdallah à Toulouse III depuis 2003.
- S. Gallego est co-encadré par F. MÉHATS et P. Degond à Toulouse III depuis 2004.
- S. Petit est co-encadrée par A. RAHMOUNI et L. Halpern à Paris 13.
- G. Dujardin est co-encadré par F. CASTELLA et E. Faou à l'IRISA depuis 2005.

5.C Rapports sur thèses et habilitations

F. CASTELLA a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat :

N. Trenado (Rouen, 2002), K. Laurieux (Bordeaux I, 2002), M. Brassart (Nice, 2002), B. Texier (Bordeaux I, 2003), Y. Gati (CERMICS, 2004), O. Pinaud (Toulouse III, 2004), D. Sanchez (Bordeaux I, 2004), C. Manzini (Scuola Normale Pisa, 2005), D. Salort (Paris 6 et Ecole Polytechnique, 2005), V. Lescarret (Bordeaux 1, 2006).

Habilitation à diriger des recherches de X. Antoine (Toulouse III, 2004),

G. CALOZ a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat :

B. Kebaili (Paris-Sud 11, 2004), M. Menad (Cergy-Pontoise, 2005), A. Zaghdani (Paris-Sud 11, 2006).

M. COSTABEL a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat :

Y. Boubendir (Toulouse, 2002) ; A. Axelsson (Canberra, 2003) ; O. Rain (Saarbrücken, 2004) ; D. Goujot (Evry, 2004) ; C. Chniti (Ecole Polytechnique, 2005) ; M. Duruflé (Paris Dauphine, 2005) ;

Habilitations à diriger des recherches :

M. Jourhmane (Marrakech, 2002) ; S. Labrunie (Nancy, 2005).

M. CROUZEIX a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat :

M. Ismail (Paris 6, 2004) ; T. Rey (Marseille, 2004) ; F. Le Goll (Paris 6, 2004).

Habilitations à diriger des recherches :

D. Tournés (Paris 6, 2004) ; S. Descombes (ENS Lyon, 2005).

M. DAUGE a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat : D. Kapanadze (Tbilissi, 2003), S. Tordeux (Ensta, 2004).

Habilitation à diriger des recherches de D. Chapelle (Inria-Rocquencourt, 2003).

P. SABLONNIÈRE a été rapporteur pour :

Thèses de doctorat : J. Windmolders (Leuven, 2003) ; E. Vanraes (Leuven, 2004) ; T. Brenna (Oslo, 2004).

Habilitations à diriger des recherches :

O. Gibaru (Lille, 2004) ; A. Matos (Lille, 2006).

6 Travail éditorial

M. CROUZEIX a appartenu au comité éditorial de *Numerische Mathematik* jusqu'en 2003.

M. DAUGE a appartenu au comité éditorial de *M2AN* de 2003 à 2006.

M. DAUGE est responsable avec O. Pironneau de la nouvelle collection *Mathématiques Appliquées pour le Master/SMAI* depuis oct. 2004.

M. PIERRE est membre du comité éditorial des revues :

Journal on Evolution Equations (JEE) et *ESAIM : Control, Optimisation and Calculus of Variations (COCV)*.

7 Evaluation de projets internationaux

F. CASTELLA a été rapporteur au Comité international d'évaluation du *Austrian Graduate Program* "Differential Equations, Models in Science and Engineering" en 2004.

M. COSTABEL a expertisé : 2 projets soumis à Fondecyt (Chili) ; 2 projets soumis à ASF (Autriche) ; 2 projet soumis à DFG (Allemagne) ; 1 ETH Research Proposal (Suisse) ; 3 projets soumis à GNSF (Géorgie) ;

M. DAUGE a expertisé : 1 projet pour le Fondecyt (Chili), 1 projet pour Ecos-Sud (France-Chili), 2 projets pour l'ARC (Australie).