

---

# Projet NUMATH

## Analyse Mathématique & Traitement Numérique de Modèles Non Linéaires

---

**Localisation :** *Nancy*

**Mots-clés :** analyse mathématique, équation aux dérivées partielles, calcul scientifique, analyse numérique, optimisation de formes, calcul parallèle, chimie moléculaire, structure flexible, stabilisation de système non linéaire, contrôle optimal, feedback non linéaire, diffusion non linéaire, problème semi-linéaire, frontière libre, surface libre, méthode numérique, algorithmes, équation intégrale, modélisation, électromagnétisme, mécanique des fluides, océanographie.

### 1 Composition de l'équipe

#### Responsable scientifique

Michel Pierre, Professeur (UHP<sup>1</sup>, puis Antenne de Bretagne de l'ENS de Cachan), délégué à l'Inria jusqu'au 30/09

#### Responsable permanent

Francis Conrad, Professeur (UHP)

#### Secrétaire

Fabienne Pérani, Inria

#### Personnel Inria

Olivier Coulaud, Chargé de recherche  
Evgueni Kazantsev, Chargé de recherche, depuis le 1/10  
Elisabeth Rouy, Chargée de recherche, jusqu'au 31/08

#### Personnel CNRS

Philippe Laurençot, Chargé de recherche  
Eric Sonnendrücker, Chargé de recherche, depuis le 1/10

---

<sup>1</sup>Université Henri Poincaré Nancy I

### Personnel universitaire

Christine Bernier-Kazantsev, Maître de conférences (UHP)  
 Bruno Pinçon, Maître de conférences (ESIAL<sup>2</sup>, UHP)  
 Jean-Rodolphe Roche, Maître de conférences (UHP)  
 Didier Schmitt, ATER, puis Maître de conférences (UHP)  
 Jan Sokolowski, Professeur (UHP)  
 Adnan Yassine, Maître de conférences (ESIAL, UHP)

### Collaborateurs

#### *ex-membres permanents du projet*

Antoine Henrot, Professeur (univ. de Besançon)  
 BoPeng Rao, Professeur (univ. de Strasbourg)  
*de l'Institut Elie Cartan*  
 Saïd Benachour, Professeur (univ. de Nancy 2)  
 Pierre Vuillermot, Professeur (UHP)

#### *extérieurs*

Ewa Bednarczuk, Académie des Sciences de Pologne  
 Jean-Pierre Brancher, Professeur (ENSEM<sup>3</sup> et LEMTA<sup>4</sup>)  
 Marc Garbey, Professeur (univ. de Lyon I)  
 Vilmos Komornik, Professeur (univ. de Strasbourg)

### Chercheurs post-doctorants

Evgueni Kazantsev, Maître de conf. invité (UHP) jusqu'au 30/04  
 Mikhaïl Tolstykh, Postdoc CCH<sup>5</sup> jusqu'au 31/03  
 NourEddine Alaa, Maître de conférences, Marrakech, Maroc

### Chercheurs doctorants

Mimoun Benmimoun, ATER, UHP  
 Nassima Boudiba, Maître-assistante, Univ. Alger  
 Laurence Fleuret, boursière MESR, puis ATER, UHP ]  
 Mohammed Hayouni, boursier CNRS, puis ATER, UHP ]  
 Abdelkrim Mifdal, ATER, UHP  
 Arjan Novruzi, boursier CCH  
 Geoffroy O'Dowd, professeur agrégé  
 Fatima Zouira Saouri  
 Bruno Salque, boursier MESR, puis ATER, UHP ]  
 Sandrine Tagni, boursière MESR, puis ATER, UHP ]  
 Judith Vancostenoble, allocataire moniteur normalien  
 Laurence Viry, ingénieur CIRIL.

Numath est un projet commun à l'INRIA, au CNRS et à l'Université Henri Poincaré Nancy 1. Il relève de l'Institut Elie Cartan qui, par convention tripartite, est laboratoire commun à ces trois organismes.

Plusieurs départs et arrivées se sont produits cette année dans le personnel permanent de l'équipe. Il y a eu *trois arrivées* : celle de Evgueni Kazantsev comme CR INRIA (il était auparavant postdoc dans le projet), celle de Eric Sonnendrücker comme CR CNRS sur poste affiché et celle de Didier Schmitt comme Maître de conférences à l'UHP (il était auparavant doctorant dans le projet). Côté départs,

<sup>2</sup>Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine

<sup>3</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, Nancy

<sup>4</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée, Nancy

<sup>5</sup>Centre Charles Hermite

Elisabeth Rouy a quitté son poste de CR INRIA pour un poste de Maître de conférences à l'Université de Tours et M. Pierre a été muté à l'Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan ; il reste responsable scientifique du projet jusque fin 96.

## 2 Présentation des objectifs

L'activité du projet relève de l'utilisation des mathématiques pour la résolution de problèmes des sciences de l'ingénieur. Elle est plus particulièrement centrée (sans que ce soit limitatif) sur l'étude des équations aux dérivées partielles non linéaires sous les trois aspects : **analyse mathématique, traitement numérique, modélisation et applications.**

Les recherches effectuées peuvent se situer à divers maillons de la chaîne allant des applications proprement dites à la simulation numérique, à savoir : la modélisation mathématique, l'étude théorique des modèles obtenus, la description d'une méthodologie de résolution, la conception d'algorithmes numériques adéquats et leur implémentation effective. Les travaux sont menés avec le double souci de résoudre des problèmes précis, points de départ de la réflexion, et de dégager des méthodes ou de développer des outils à portée plus générale.

Les domaines d'applications peuvent donc être variés. Les questions mathématiques soulevées relèvent quant à elles, des équations ou systèmes d'équations aux dérivées partielles, de leur contrôle et, par extension, des problèmes variationnels et d'optimisation éventuellement sous-jacents.

Les centres d'intérêt plus spécifiques du projet peuvent être classés comme suit :

1) Frontières libres, contrôle de formes, optimisation de formes et problèmes connexes : parmi les applications importantes, citons le traitement électromagnétique de métaux liquides. L'investissement récent vers les applications à la chimie moléculaire quantique continue à prendre de l'importance dans le projet. D'autres applications sont sous-jacentes aux questions mathématiques et numériques traitées (matériaux, thermique, ...).

2) Stabilisation de structures flexibles : il s'agit de la stabilisation de systèmes vibrants modélisés par des EDP tels que les antennes de satellites, les parties flexibles de robots et d'installations industrielles.

3) Problèmes d'évolution non linéaires et applications : l'accent est mis sur le comportement asymptotique en temps (et l'existence globale) de certaines évolutions non linéaires : réaction-diffusion, phénomènes semi-linéaires, modèles en météorologie et océanographie (thème, assez récent, mais d'importance croissante dans le projet).

Par ailleurs, un effort tout particulier est fait pour participer aux activités de parallélisme du Centre Charles Hermite (Centre lorrain de compétence en modélisation et calcul à hautes performances). Ceci se concrétise par l'accent mis sur les thèmes demandeurs en gros calculs (magnétohydrodynamique, optimisation de formes 3-d, modèles en océanographie et météorologie, chimie moléculaire, ...) et par la responsabilité de trois opérations du CCH .

## 3 Actions de recherche

### 3.1 Problèmes à frontières libres, contrôle et optimisation de formes, problèmes connexes

Nous regroupons dans cette section les travaux concernant les modèles où interviennent des frontières libres, des formes, le contrôle de formes et les problèmes qui leur sont connexes, soit par le type d'applications sous-jacentes, soit par les questions mathématiques posées.

### 3.1.1 Le traitement électromagnétique de métaux liquides : la modélisation, l'approximation numérique

*Participants* : Jean-Pierre Brancher, Olivier Coulaud, Laurence Viry, Marc Garbey, Michel Pierre

L'une des motivations importantes concerne ici la modélisation des procédés de traitement électromagnétique des métaux liquides. Ceci recouvre de nombreuses applications, certaines bien établies dans les traitements industriels des métaux, d'autres en cours d'étude.

La modélisation complète doit prendre en compte les phénomènes électromagnétiques, hydrodynamiques et thermiques, tout ceci avec plusieurs types de frontières libres : air/métal liquide ou liquide/solide pour la solidification. Le modèle s'écrit avec les équations de Maxwell, les équations de Navier-Stokes et des lois de comportements à préciser.

Notre intérêt concerne plus particulièrement le cas de courants imposés de "hautes fréquences". Nous avons donc étudié en détail le comportement asymptotique de ces systèmes lorsque la fréquence imposée tend vers l'infini. Ceci nécessite l'introduction de deux échelles de temps (magnétique et hydrodynamique). Nous avons complètement décrit le modèle limite à l'ordre 1 pour les conducteurs solides [644] ainsi que pour un conducteur liquide, mais avec un nombre de Reynolds faible. Dans ce dernier cas, nous avons justifié le domaine de validité du modèle magnétostatique souvent utilisé dans le cadre de la haute fréquence [630]. Nous continuons l'approche numérique du mouvement.

Pour prendre en compte la couche limite électromagnétique, nous avons utilisé une technique ad hoc de décomposition de domaine. Nous avons étudié les propriétés de convergence de la méthode de Funaro-Quarteroni en fonction des positions des interfaces et des conditions aux limites qu'elles portent [661]. Nous obtenons aussi un bon critère d'adaptivité du maillage. Dans le cas d'un conducteur solide, nous avons mis au point un solveur efficace basé sur une décomposition en trois domaines qui a été testé avec Matlab en différences finies, puis validé avec `Modulef`. Ces travaux ont fait l'objet des communications [628, 629]

Tous les aspects de simulation numérique décrits sur ce sujet font l'objet d'une opération du Centre Charles Hermite. O. Coulaud en assure la responsabilité et elle bénéficie du concours de M. Garbey, Professeur à l'Université de Lyon I, conseiller scientifique au CCH et de L. Viry, ingénieur au CIRIL.

#### **Le logiciel Para++**

En collaboration avec le projet lorrain RESEDAS, nous avons développé une interface C++ pour l'échange de messages `Para++`. Cette interface est construite au-dessus de PVM et MPI et permet de construire rapidement des programmes parallèles portables en échanges de messages. La version 2.0 tourne sur toute station de travail, PC sous Linux ainsi que sur Paragon, SP2, PowerChallenge. Nous avons porté notre modèle `MPMD` au-dessus de `LAM` qui tient compte du futur standard MPI-2 [627]. Le modèle `MPMD` peut être vu comme inclus dans notre modèle `M-SPMD` (Multiple `SPMD`) [660]. Il permet d'utiliser des fonctions de réduction, de synchronisation sur un groupe de processeurs (en cours de rédaction).

Cette bibliothèque est diffusée à partir de l'UR Lorraine :

<http://www.loria.fr/para++>

### 3.1.2 Equations de Maxwell et de Vlasov-Maxwell: approximation numérique

*Participant* : Eric Sonnendrücker

L'arrivée d'Eric Sonnendrücker en octobre dans l'équipe conforte la composante "électromagnétique" du projet. Ses activités de l'année et les directions futures qu'il envisage au sein de Numath sont décrites ci-dessous.

**Etude numérique du déplacement de particules chargées :** Pour simuler le déplacement de particules chargées dans leurs champs auto-consistants, on résout numériquement les équations de Vlasov-Maxwell. Il existe actuellement des codes 2D ou 3D. Néanmoins, les échelles de temps très différentes intervenant dans ces problèmes nécessitent de nouvelles approches. Pour la simulation à basses fré-

quences, nous avons montré, par exemple, que le modèle de Darwin souvent utilisé par les physiciens était une approximation d'ordre 2 de Maxwell [622, 659].

L'équipe du Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés de l'Université de Nancy I a mis au point un code utilisant des techniques eulériennes qui donne des résultats prometteurs dans des géométries simples. Nous envisageons d'étendre ces techniques au cas de géométries physiquement réalistes.

**Résolution numérique d'EDP (type Maxwell) au voisinage de coins rentrants :** La singularité due aux coins rentrants est généralement prise en compte par un raffinement important du maillage ou l'utilisation de fonctions de base comprenant la partie principale des singularités. Dans les deux cas, le coût du calcul est considérable : grand nombre de nœuds dans le premier cas, fonction de base non locale dans le second cas. Dans le cas où l'on peut calculer explicitement une base des termes singuliers, nous avons introduit une méthode de décomposition de domaine qui permet de calculer une solution très précise au voisinage de la singularité à un coût restreint [589, 658]. La méthode a été développée en 2D. Elle devrait se généraliser au cas 3D.

### 3.1.3 Le calcul numérique des formes ; applications en électromagnétisme

*Participants :* Arjan Novruzi, Michel Pierre, Jean-Rodolphe Roche, Jan Sokolowski, Adnan Yassine

Comme expliqué en 3.1.1, dans les problèmes de métaux liquides, on peut modéliser l'équilibre des formes à l'aide d'un modèle limite **magnétostatique** lorsque la fréquence du courant imposé est grande. La détermination de la forme d'équilibre devient alors un problème d'**optimisation de formes**. Il en résulte des algorithmes naturels pour le calcul numérique de cette forme s'inspirant des algorithmes d'optimisation numérique usuels.

Nous avons poursuivi l'implémentation et l'analyse détaillée de méthodes de Newton et Quasi-Newton pour le calcul de formes 3-d et, en particulier, les formes d'équilibre des bulles de métal liquide en lévitation. Ceci nécessite l'étude spécifique des dérivées secondes par rapport au domaine (voir [668, 669]). Une étude du poids relatif des diverses composantes de la dérivée seconde nous a permis de négliger un nombre important de termes ; nous obtenons ainsi pour la méthode de Newton une complexité de même ordre que pour celle de Quasi-Newton avec des vitesses de convergence nettement plus rapides (voir [588, 632, 667]).

Par ailleurs, nous étudions la parallélisation des algorithmes utilisés, ceci ayant un caractère général puisqu'il s'agit d'équations intégrales sur une surface (voir [588]).

Enfin, nous comparons l'efficacité respective du gradient discret et de l'approximation discrète du gradient continu pour les problèmes d'optimisation de formes considérés ci-dessus [653].

Notons que d'autres algorithmes d'optimisation, de type sous-gradient, sont utilisés dans [636, 670, 671] pour des applications différentes.

### 3.1.4 Problèmes théoriques liés aux formes

*Participants :* Mohammed Hayouni, Antoine Henrot, Michel Pierre, Elisabeth Rouy, Judith Vancostenoble

**Existence et régularité de formes optimales :** Les résultats classiques d'existence de formes optimales fournissent généralement des formes peu régulières, voire seulement des ensembles mesurables de  $\mathbb{R}^N$  et ce, même si les interprétations physiques laissent penser qu'elles doivent être régulières. Il est donc nécessaire de développer des méthodes pour prouver la régularité de ces formes.

Dans cette direction, nous poursuivons l'étude de la régularité de plusieurs problèmes d'optimisation de forme. D'autre part, sur l'aspect existence, nous avons analysé l'existence de formes optimales pour des opérateurs d'ordre 4 (mécanique des plaques). Ce travail constitue le sujet de la thèse de M. Hayouni qui doit être soutenue en janvier 97.

**Problème de forme inverse - Stabilité :** le travail [617] concerne le problème inverse de forme tridimensionnel provenant du contrôle des formes des bulles de métal liquide en lévitation dans un champ

électromagnétique. La forme de la bulle étant a priori donnée (soit une surface fermée régulière  $\Sigma$ ), il s'agit de savoir s'il est possible de disposer des inducteurs pour que la bulle prenne exactement cette forme à l'équilibre. Ceci nécessite de déterminer si l'équation **eikonale** sur la surface donnée  $\Sigma$  admet des solutions régulières (ce qui est une question intéressante en soi). Nous obtenons une condition nécessaire et suffisante de "formabilité" des bulles. Nous examinons maintenant les mêmes questions pour des équations d'Hamilton-Jacobi généralisant l'équation eikonale.

### 3.1.5 Optimisation de forme et identification de forme en thermique

*Participants* : Jan Sokolowski, Antoine Henrot, Jean-Rodolphe Roche

Dans l'article [606], nous nous intéressons à l'optimisation de la forme d'un **arc chauffant**. Nous modélisons tout d'abord le problème en faisant intervenir une mesure de Radon, dont nous cherchons, en particulier, à optimiser le support. Nous montrons l'existence d'une solution optimale, d'abord en un sens classique, puis en un sens généralisé en relaxant le problème. Nous écrivons aussi les conditions d'optimalité du premier ordre.

Dans [623], nous avons également abordé par des techniques d'optimisation de forme, un problème d'identification de fissure dans un corps à partir de mesures thermiques à la frontière. Il peut être abordé numériquement par des algorithmes du même type que précédemment (cf. section 3.1.3).

### 3.1.6 Contrôle et sensibilité de formes

*Participants* : Ewa Bednarczuk, Michel Pierre, Jan Sokolowski

Dans [641], nous étudions des problèmes de contrôle frontière avec des contraintes sur l'état pour des modèles non linéaires de transition de phase de matériaux à mémoire de forme. Nous obtenons des conditions d'optimalité pour les problèmes de contrôle.

Dans [654], nous établissons le cadre de l'analyse de sensibilité par rapport à la forme de systèmes d'équations sur une surface de  $\mathbb{R}^3$ . Nous considérons le modèle de coque mince présenté par Koiter en 1970. Les gradients de forme et les Hessiens de forme associés aux fonctionnelles de forme  $y$  sont définis et évalués en utilisant la dérivée de déplacement.

Enfin, dans [625], nous donnons des conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un élément donné appartienne à l'ensemble tangent du deuxième ordre du cône positif  $K$  dans  $L^\infty$ . Comme, en général, on peut avoir  $T_K''(f, v) = \emptyset$ , nous étudions la condition sur  $f, v$  pour que  $T_K''(f, v)$  soit non vide. Sous la condition obtenue, le deuxième ensemble tangent  $T_K''(f, v)$  est un cône. Ensuite, on applique les résultats obtenus pour calculer les ensembles tangents d'ordre 1 et 2 de l'ensemble  $B = \{u \in W^{1,\infty}(\Omega) \mid |\nabla u|^2 \leq 1\}$ .

L'objectif du livre [586] est de développer les outils mathématiques pour les problèmes d'optimisation de formes et de sensibilité de formes intervenant dans les modèles de plaques élastiques et de coques.

La plupart des travaux de cette section font l'objet d'une collaboration avec l'Institut de Recherche en Systèmes de l'Académie des Sciences de Pologne.

### 3.1.7 Les modèles de transition de phase

*Participants* : Philippe Laurençot, Jan Sokolowski

Les modèles de transition de phase décrivent la cinétique des transitions de phase dans un système binaire, par exemple, les situations phase solide/phase liquide dans un matériau, lorsque l'état physique du système est décrit par un paramètre d'ordre  $\phi$  (qui est la variable d'état caractérisant la phase) et par la température  $\theta$ .

Des questions de contrôle associées à ces modèles ont déjà été mentionnées à la section précédente. Dans le travail [642], en collaboration avec P. Colli, il s'agit de l'étude de l'existence de solutions faibles du modèle de Penrose-Fife pour des flux de chaleur généraux

$$\mathbf{q} = \kappa(\theta) \nabla \left( \frac{1}{\theta} \right). \quad (5)$$

Seul le cas  $\kappa = \text{const.}$  était considéré dans la littérature auparavant. Notre analyse nous permet de considérer des fonctions  $\kappa$  plus générales. Nous nous intéressons maintenant au problème de l'unicité de telles solutions en collaboration avec J. Sprekels. D'autres résultats sont publiés dans [607, 612, 614].

### 3.1.8 Chimie moléculaire quantique

*Participants* : Olivier Coulaud, Philippe Laurençot, Bruno Pinçon

Il s'agit ici d'un investissement récent en collaboration avec les chercheurs du laboratoire de Chimie Théorique de l'Université de Nancy I. Il relève de la modélisation en génie moléculaire. Dans un premier temps, nous nous sommes concentrés sur la simulation de molécules **plongées dans un solvant** et, plus particulièrement, sur le calcul du potentiel électrique. Les calculs doivent conduire à déterminer la déformation de la molécule et le potentiel intermoléculaire à la surface de la molécule. La situation est fortement changée par rapport au vide et soulève des difficultés nouvelles. Deux d'entre elles ont pu être résolues :

- L'utilisation d'un programme existant (dû à M. Sanner) nous a permis de réaliser la triangulation de "grosses molécules" ; à partir de ces triangulations que nous améliorons un peu en les régularisant, nous créons une triangulation  $P^2$  "courbe".
- Nous avons initialement programmé deux méthodes de résolution de l'équation intégrale décrivant le potentiel électrique. Notre approche donne maintenant les résultats attendus : convergence plus rapide que la méthode élémentaire et les éléments courbes nous permettent de jouer sur le maillage sans tronquer la forme de la molécule (même s'il reste beaucoup à faire pour aboutir à un véritable maillage adaptatif). Un rapport [662] sera soumis prochainement pour publication.

Les collaborations avec le Laboratoire de Chimie Théorique de Nancy doivent encore s'intensifier. Des contacts ont été aussi établis avec M. Karplus de Strasbourg (membre du Conseil Scientifique de l'Inria).

### 3.1.9 Contrôle optimal et équation d'Hamilton-Jacobi dans les espaces de Hilbert

*Participant* : Elisabeth Rouy

Nous avons déjà rencontré ci-dessus une équation d'Hamilton-Jacobi d'ordre 1 pour les questions de formage. Ici, nous mentionnons des travaux pour des équations d'Hamilton-Jacobi d'ordre 2 avec des fonctions inconnues définies sur un espace de Hilbert de dimension infinie et qui sont solutions d'un contrôle optimal. Plus précisément, soit  $X$  un espace de Hilbert séparable et  $C_b(X)$ , l'espace des fonctions réelles uniformément continues et bornées sur  $X$ . Dans le cas complètement non linéaire, pour  $\lambda > 0$  et  $\psi \in C_b(X)$ , on cherche  $u \in C_b(X)$  solution de l'équation d'Hamilton-Jacobi

$$\lambda u + \langle Ax, Du \rangle + H(x, Du, D^2u) = 0, x \in X,$$

où  $A$  est le générateur infinitésimal d'un semi-groupe fortement continu de type négatif sur  $X$ ,  $H$  est définie dans un sous domaine de  $X \times X \times \Sigma(X)$ . On montre sous certaines hypothèses naturelles que l'équation admet une solution unique  $u$  [605, 664].

### 3.1.10 Outils mathématiques en analyse et synthèse d'images

*Participants* : Laurence Fleuret, Michel Pierre, Bruno Salque

En collaboration avec le projet lorrain ISA, nous étudions

- d'une part, la parallélisation de la résolution de l'équation de radiosité intervenant dans la simulation du comportement et de la propagation de la lumière. C'est une équation intégrale sur la surface éclairée, analogue à celles vues dans les sections précédentes. La méthode utilisée est une décomposition de domaines, le découpage étant naturellement suggéré dans ce type d'applications. Ce travail fait l'objet de la thèse de B. Salque dont la soutenance est prévue pour 97.

- d'autre part, le suivi de contours dans  $\mathbb{R}^3$  par une seule caméra nous examinons la question théorique de l'unicité de la reconstruction du mouvement de la caméra pour l'observation d'une courbe rigide et nous examinons des algorithmes numériques de reconstruction. Ceci fait l'objet de la thèse de L. Fleuret dont la soutenance doit avoir lieu en 97.

## 3.2 Stabilisation de structures flexibles

Etant donné un système vibrant, on recherche des contrôles par retour d'état qui stabilisent le système. Les modèles étudiés sont des systèmes d'équations aux dérivées partielles. Les contrôles dynamiques, linéaires ou non linéaires, sont principalement appliqués sur le bord du domaine et peuvent faire intervenir des dérivées en temps d'ordre élevé. On obtient alors des systèmes dits hybrides. Au cours de cette année, les questions de stabilisation ont porté sur des modèles plus complets que ceux étudiés auparavant, en particulier :

- un modèle de pont roulant avec chariot et masse
- une poutre de Rayleigh avec un terme visqueux et un amortissement distribués.

Par ailleurs, en complément de travaux antérieurs, des problèmes de contrôlabilité ont été abordés sur un modèle hybride de poutre avec masse et moment (SCOLE).

Enfin, des questions générales de contrôlabilité, observabilité, stabilisabilité (rapide, forte ou faible) sur des classes assez larges de systèmes (couplés, élastiques, ...) sont en cours. Dans la suite concernant les systèmes hybrides, l'effort portera, en particulier, sur les estimations de taux de vitesse de stabilisation, au moyen d'une analyse spectrale fine.

### 3.2.1 Stabilisation d'un modèle de pont roulant

*Participants* : Francis Conrad, Abdelkrim Mifdal, Geoffroy O'Dowd, BoPpeng Rao

Des résultats théoriques ont complété cette année les travaux entrepris depuis 1992 : obtention de nouveaux feedbacks agissant sur la plate-forme et assurant une stabilité uniforme du système (les contrôles frontières doivent être assez irréguliers, en particulier, la vitesse de rotation du câble est prise en compte). En ce qui concerne les aspects numériques, l'évolution du spectre en fonction des paramètres de la commande a été réalisée. A. Mifdal soutiendra son doctorat début 1997 sur ce thème [616, 652].

Plus généralement, pour des systèmes hybrides dont le pont roulant est un modèle type, nous avons utilisé la théorie de Shkalikov (problèmes spectraux pour les équations différentielles lorsque les valeurs propres interviennent dans les conditions aux bord). Elle assure que le système de fonctions propres constitue une base de Riesz, ce qui permet d'obtenir le taux optimal de décroissance de l'énergie.

Autres travaux en cours sur le pont roulant : étude du système (existence, stabilité faible, forte ou uniforme) dans le cas où le modèle est dissipatif, mais sans feedback monotone; estimation de la décroissance de l'énergie (sujet du doctorat de G. O'Dowd). Pour un feedback en vitesse, des résultats sont établis ; le cas avec vitesse et vitesse de rotation est en cours.

### 3.2.2 Problèmes de contrôlabilité, observabilité et stabilité

*Participant* : Vilmos Komornik

En collaboration avec F. Alabau, nous avons résolu un problème de J. Lagnese, ouvert depuis 1983, en démontrant la stabilisabilité frontière des systèmes d'élasticité linéaires par un feedback naturel [624, 70?].

En collaboration avec P. Loreti, nous avons résolu, dans des cas particuliers, un problème de J.-L. Lions, ouvert depuis 1988, concernant l'observabilité et l'observabilité partielle des systèmes couplés linéaires si les paramètres du couplage ne sont pas petits (articles en préparation).

On continue d'étudier des problèmes couplés avec F. Alabau, P. Loreti, et en collaboration avec P. Canarsa (problèmes paraboliques), D. L. Russell (problèmes de formation), D. Tiba (contrôlabilité avec des contraintes), M. Yamamoto (contrôlabilité des problèmes perturbés), F. Bourquin (justification de résultats antérieurs de stabilisation rapide par la méthode de Galerkin).

### 3.2.3 Contrôlabilité des systèmes hybrides

*Participants* : Abdelkrim Mifdal, BoPeng Rao

En ce qui concerne le modèle du pont roulant, le problème de contrôlabilité exacte en utilisant la méthode HUM est en cours. Pour un système de poutre avec masse (modèle SCOLE), après une étude antérieure relativement complète sur la stabilisation, la contrôlabilité exacte du modèle a été établie. Pour des données initiales régulières  $y_0 \in H^6(0, L)$ ,  $y_1 \in H^4(0, L)$ , la contrôlabilité exacte a été démontrée par Littman-Markus (1988) par une approche de troncature. Mais faute de la régularité exigée, la méthode de troncature ne s'applique pas dans le cas des données initiales usuelles :  $y_0 \in H^2(0, L)$ ,  $y_1 \in L^2(0, L)$ .

Utilisant la méthode HUM, nous avons montré dans [620] que le modèle SCOLE est exactement contrôlable en un temps arbitrairement petit par deux contrôles  $v_0, v_1$  pour les données initiales usuelles  $y_0 \in H^2(0, L)$ ,  $y_1 \in L^2(0, L)$  et aussi par un seul contrôle en moment pour  $L < 3$ . L'extension de la méthode pour les plaques élastiques est en cours.

### 3.2.4 Décroissance optimale de l'énergie pour un modèle de poutre de Rayleigh

*Participant* : BoPeng Rao

Après une étude qualitative sur la stabilisation uniforme [619], nous avons considéré l'équation de poutre de Rayleigh avec un amortissement visqueux

$$\begin{cases} y_{tt} - \gamma^2 y_{xxtt} + y_{xxxx} - (ay_{xt})_x = 0, & 0 < x < 1, \quad t > 0, \\ y(0, t) = y_x(0, t) = y(1, t) = y_x(1, t) = 0, & t > 0, \\ y(x, 0) = y_0(x), \quad y_t(x, 0) = y_1(x) \end{cases}$$

où  $\gamma^2 > 0$  est le coefficient du moment d'inertie et  $a \in H^4(0, 1)$  est une fonction strictement positive. Dans un article en préparation, nous améliorons "la méthode du câble" (Cox-Zuazua, 1994) pour qu'elle puisse être appliquée à l'équation de poutre de Rayleigh. Nous montrons que les fonctions propres généralisées forment une base de Riesz dans l'espace d'énergie.

### 3.2.5 Stabilisation faible pour des systèmes sans compacité

*Participants* : Francis Conrad, Michel Pierre, Judith Vancostenoble

Nous avons étudié la stabilisation pour des systèmes vibrants dont un modèle type est l'équation des ondes avec un contrôle par feedback non linéaire à forte croissance qui ne permet plus de garantir la

compacité forte des trajectoires dans l'espace d'énergie. On peut, par contre, espérer des stabilisations faibles.

Une approche assez générale est faite dans [656] où des résultats de stabilisation faible sont obtenus pour des retours d'état non linéaires et non monotones.

### 3.2.6 Stabilisation simultanée de deux systèmes avec performances et placement de pôles

*Participante* : Christine Bernier-Kazantsev

Ce travail s'effectue en collaboration avec Ch. Fonte et M. Zasadzinski du CRAN [645, 663]. Nous nous intéressons au problème de la stabilisation simultanée de deux systèmes. Nous montrons, pour deux des méthodes utilisées, que l'étude du compensateur simultané conduit à une condition de divisibilité dans  $RH_\infty$  et, à ce propos, nous proposons une nouvelle formulation de la condition d'existence. Finalement une méthode de synthèse explicite est donnée afin de construire des correcteurs simultanés pour deux systèmes.

## 3.3 Problèmes d'évolution non linéaires

Les problèmes d'évolution non linéaires évoqués dans cette section sont essentiellement de type parabolique et semi-linéaire. Nos objectifs concernent l'existence globale en temps, le comportement asymptotique en temps, la description des attracteurs, la mise en évidence des propriétés qualitatives des évolutions modélisées (ex. prédictibilité) ou la simulation numérique des phénomènes. Les applications sous-jacentes sont bien sûr très nombreuses: la météorologie, l'océanographie et l'hydrologie pour les modèles en 3.3.2, la chimie, la biologie, la dynamique des populations pour les équations ou systèmes de réaction-diffusion de 3.3.1 et 3.3.3, et aussi les transitions de phase pour 3.3.3.

### 3.3.1 Systèmes de réaction-diffusion

*Participants* : NourEddine Alaa, Michel Pierre, Didier Schmitt, Philippe Laurençot, Nassima Boudiba

**A) Existence globale dans les systèmes de réaction-diffusion** Les systèmes de réaction-diffusion modélisent l'évolution de plusieurs composants qui interagissent et diffusent dans un milieu ambiant. Nous avons poursuivi notre étude systématique de l'existence globale en temps de solutions pour des systèmes présentant les deux propriétés fondamentales suivantes qui apparaissent naturellement dans de nombreuses applications :

- la positivité des solutions est préservée au cours du temps
- la somme des termes réactifs est négative ou nulle (ce qui implique en général que la masse totale des composants est décroissante au cours du temps).

Ces systèmes s'écrivent par exemple

$$u_t - d_1 \Delta u = f(u, v) \text{ sur } \Omega \times (0, \infty), \quad (6)$$

$$v_t - d_2 \Delta v = g(u, v) \text{ sur } \Omega \times (0, \infty), \quad (7)$$

avec conditions initiales et aux limites. Ici,  $d_1, d_2 > 0$  sont les coefficients de diffusion,  $f, g : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  représentent les interactions non linéaires qui sont donc supposées respecter la positivité au cours du temps soit :

$$f(0, v) \geq 0, g(u, 0) \geq 0, \text{ pour tout } u, v \geq 0$$

et, par exemple,  $f + g \leq 0$ .

Pour le système d'équations différentielles ordinaires associé (c'est-à-dire sans les diffusions), ces deux propriétés assurent l'existence **globale** en temps de solutions pour toute donnée initiale positive. Pour le système d'EDP, elles assurent seulement une estimation  $L^1$  a priori des solutions. La question générale

étudiée dans le projet est de savoir dans quelle mesure ces propriétés aident à l'existence globale en temps de solutions.

C'est le cas si les coefficients de diffusion sont identiques. Si, par contre, ils sont différents, nous avons montré grâce à des contre-exemples explicites construits avec l'aide de MAPLE qu'il peut y avoir concentration ponctuelle de masse à certains instants et donc explosion de la norme  $L^\infty$  en temps fini. Ces contre-exemples s'avèrent avoir des sous-produits intéressants pour des équations paraboliques linéaires sous forme non divergente et à coefficients discontinus et pour des équations non-linéaires d'Hamilton-Jacobi. Ce travail a fait l'objet de l'article [618] ; voir aussi [615] pour des discussions sur l'influence des conditions aux bord.

Nous avons aussi continué à analyser l'influence de dépendances en  $\nabla u$ ,  $\nabla v$  pour les nonlinéarités  $f$  et  $g$ . La situation est encore plus délicate puisque nécessitant d'emblée des estimations sur les gradients. Le cas parabolique "triangulaire" (i.e. quand, de plus, une équation est "bonne") est traité dans [626] pour des dépendances sous-quadratiques. Plusieurs résultats dans cette classe de problèmes font partiellement l'objet de la thèse d'Etat de N. Alaa [587].

Dans [640], nous montrons l'existence d'effets régularisants dans des systèmes de ce type pour des données intégrables, voire seulement mesures.

**B) Etude d'un modèle de réaction-diffusion de réponse d'un tissu organique à une infection bactérienne.** Il s'agit d'un modèle de type chimiotactique, qui est constitué de trois EDPs non linéaires. Nous montrons l'existence et l'unicité d'une solution de ce problème [647]. Nous nous intéressons maintenant à la stabilité de l'état sain, i.e. à déterminer quel est le seuil que l'infection ne doit pas dépasser pour que les défenses immunitaires du tissu soient en mesure de l'enrayer sans apport extérieur tel que antibiotiques, ou autres.

**C) Modèles de coagulation-fragmentation avec diffusion.**

Ces modèles décrivent l'évolution d'une population de polymères qui peuvent, soit se fragmenter en deux, soit s'agglomérer deux à deux. Mathématiquement, ces modèles s'écrivent comme des systèmes infinis d'équations. Lorsque les fluctuations spatiales sont négligées, ces modèles se réduisent à des systèmes infinis d'EDO et ont fait l'objet d'études (J. Ball, J. Carr, O. Penrose, ...). Lorsqu'on prend en compte les fluctuations spatiales, ces modèles deviennent des systèmes infinis d'équations de **réaction-diffusion** avec des coefficients de diffusion différents pour chaque équation. Dans le cas où seule la fragmentation est prise en compte (dégradation de polymères), nous avons montré l'existence et l'unicité de solutions et obtenu le comportement pour les grands temps de ces solutions [650].

### 3.3.2 Prédicibilité et simulation numérique pour les modèles océaniques et atmosphériques

*Participants* : Christine Bernier-Kazantsev, Evgueni Kazantsev, Philippe Laurençot, Didier Schmitt, Mikhaïl Tolstykh, Michel Pierre

Ce thème, introduit ces dernières années dans le projet, relève de l'analyse mathématique et de la simulation numérique pour des modèles en océanographie et météorologie.

**A) Une des questions principalement étudiées est la **prédicibilité** pour les modèles quasi-géostrophiques (QG) multicouche des circulations océaniques et atmosphériques.** La prédicibilité consiste, par exemple, à donner une estimation du temps pendant lequel on est capable, compte-tenu de l'état présent, de prédire de façon raisonnablement précise l'évolution du phénomène considéré (circulation océanique, temps, climat, ...). Du point de vue mathématique, cela consiste à estimer la vitesse de croissance au cours du temps de petites erreurs des données initiales et donc à calculer des exposants de Liapounov. C'est ce que nous avons fait numériquement pour des intervalles de temps finis et pour des domaines tels l'Atlantique Nord. Nous avons étudié les particularités numériques de l'algorithme [665]. Nous avons aussi calculé les exposants de Liapounov instantanés et comparé les résultats avec leurs estimations théoriques où nous avons constaté une coïncidence remarquable [597]. Voir aussi [598] pour d'autres résultats numériques.

**B) Nous avons implémenté les approches récentes par paramétrisation des tourbillons en échelle sous-grille qui reposent sur une mécanique statistique du potentiel de vorticité. L'objectif est de pouvoir faire**

des calculs réalistes avec des échelles grossières qui "effacent" les tourbillons locaux. En l'absence de friction et de force extérieure, nous montrons que le système atteint un équilibre proche du courant dit de Fofonoff. Nous validons ensuite le modèle dans des situations réalistes. Nous poursuivons cette étude et, en particulier, la parallélisation des algorithmes. Le coût essentiel du calcul vient des très nombreuses multiplications (environ  $10^5$ ) de matrices de grandes dimensions ( $500 \times 500$ ) [666].

**C) Unicité de la solution du modèle quasi-géostrophique multicouche lorsque la couche supérieure est connue (au moins partiellement) :** cette question se pose naturellement en assimilation de données où les observations ont lieu en surface. Si on suppose le modèle parfait, il s'agit de savoir si la connaissance du comportement de la surface de l'océan permet de déduire celui de l'océan tout entier.

Nous avons essayé deux directions de recherche. La première [639] utilise des techniques classiques d'estimations a priori et donne des résultats positifs pour des vents extérieurs faibles. La seconde consiste en l'étude des degrés de liberté déterminants [638].

**D) D'autres études de parallélisation ont été faites dans le cadre du CCH et exposées lors des journées scientifiques [635, 655].**

La plupart des recherches sur ce thème s'effectuent en collaboration avec l'Institut de Mathématiques Numériques de l'Académie des Sciences de Russie à Moscou et fait l'objet d'un projet spécifique dans le cadre de l'Institut Liapounov. Des échanges suivis sur ce sujet ont lieu avec le projet IDOPT et l'Institut de Mécanique de Grenoble (J. Verron, C. Le Provost).

### 3.3.3 Comportement asymptotique et attracteurs pour des évolutions non linéaires

*Participants :* Saïd Benachour, Mimoun Benmimoun, Philippe Laurençot, Pierre Vuillermot

Un investissement important a lieu au sein du projet sur l'étude du comportement asymptotique pour différents modèles d'évolution non linéaires, soit par des méthodes géométriques de systèmes dynamiques, soit par des méthodes d'estimations EDP, soit le plus souvent par une association des diverses techniques, avec la mise en évidence d'attracteurs et de leurs propriétés qualitatives.

A partir de méthodes géométriques, nous effectuons l'analyse fine du comportement asymptotique d'équations de type parabolique semi-linéaire déterministes et stochastiques. A citer cette année, l'élucidation complète de la structure de l'attracteur global pour une classe d'équations paraboliques du type d'Itô, ainsi que le calcul et/ou l'estimation d'exposants de Liapounov. Tous les résultats sur ces questions peuvent être trouvés dans [595, 596, 599, 600, 601, 637].

Un point important d'intérêt commun avec le projet OMEGA concerne certaines équations aux dérivées partielles non linéaires. Celles-ci interviennent naturellement pour décrire les densités de probabilités des processus non linéaires. L'étude stochastique utilise souvent des résultats connus sur les EDP non linéaires. Inversement, les méthodes probabilistes fournissent des outils très fins pour décrire les propriétés des solutions. Citons par exemple

- la description de la solution fondamentale de l'équation de diffusion :

$$u_t = -u_{xxxx}$$

à l'aide d'une formule probabiliste et l'étude du comportement du tourbillon dans les équations de Navier-Stokes en dimension 2 sur un ouvert : les phénomènes de création et de disparition de la vortacité au bord sont décrits à l'aide d'un processus stochastique. Nous renvoyons à [590, 592, 593, 591, 594] pour tous ces résultats.

- Comportement asymptotique pour des EDP dans  $\mathbb{R}^N$  : nous avons caractérisé le profil dans  $L^1(\mathbb{R})$  lorsque  $t \rightarrow +\infty$  des solutions positives au sens large de

$$u_t + (u^q)_x - (u^m)_{xx} = 0, \quad (8)$$

suivant les valeurs de  $m \in (1, +\infty)$  et  $q \in (0, +\infty)$ ,  $q \neq 1$ . Des estimations de taux de décroissance sont obtenues, ainsi que l'existence et l'unicité de solutions de (1) avec donnée initiale une masse de Dirac ([610, 611, 648, 649, 651]). L'extension de ces résultats au cas de la dimension supérieure est en cours. Voir aussi [602, 604, 613] pour d'autres résultats de comportement asymptotique.

### 3.3.4 Solutions périodiques pour l'équation du pendule simple

*Participante* : Sandrine Tagni

Ce travail de thèse est effectué sous la direction de O. Kavian, Professeur à l'Université de Versailles (précédemment dans le projet). Il s'agit de l'étude de l'existence de solutions périodiques (en vue de la description de comportements asymptotiques) pour le modèle du pendule simple forcé qui s'écrit :

$$\begin{aligned} u''(t) + a^2 \sin u(t) &= f(t) \text{ sur } [0, T] \\ u(T) - u(0) &= u'(T) - u'(0) = 0 \end{aligned}$$

où  $a$  est une constante et  $f$  une fonction de  $L^1(0, T)$ . Dans le cas où  $f$  est de moyenne nulle, la réponse est connue. Nous étudions les autres cas ainsi que l'équation du pendule double par des méthodes variationnelles.

## 4 Actions industrielles

Nous développons nos contacts industriels pour retrouver des activités contractuelles sur nos thèmes de recherche, ce, avec l'aide d'Alain Lépine, responsable des relations industrielles de l'Unité Lorraine. Nous venons de signer un accord de confidentialité avec la société Montupet en vue de dégager des sujets d'étude communs sur le traitement électromagnétique des métaux liquides.

En liaison avec nos collègues du LEMTA, nous poursuivons nos contacts avec l'IRSID (Institut Français pour la Recherche en Sidérurgie de Maizières-lès-Metz). Des discussions avaient permis de dégager plusieurs sujets d'intérêt commun sur de nouvelles utilisations de procédés électromagnétiques dans le traitement de l'acier. Pour l'instant, elles n'ont débouché que sur des stages d'étudiants.

Parallèlement, en collaboration avec le CUCES, nous avons mis en place une action de formation aux méthodes de résolution numérique d'EDP à destination des entreprises, la première action ayant eu lieu pour un groupe d'ingénieurs de l'IRSID.

Nous continuons également nos contacts avec l'IRH (Institut de Recherches Hydrologiques, Vandoeuvre-lès-Nancy) (stagiaires, participation de M. Pierre au comité de suivi du projet régional "Eau et Environnement" animé par l'IRH). Nous avons proposé avec une équipe de cet institut (et avec 8 autres laboratoires européens) un projet européen dans le cadre de TMR qui avait été bien classé, mais non retenu. Une nouvelle proposition est en cours de discussion.

Nous attendons les décisions finales concernant notre projet (déposé il y a maintenant près de deux ans !) dans le cadre d'INTERREG, en collaboration avec les universités de Saarbrücken (A. Louis) et de Kaiserslautern (W. Neunzert). L'objectif du projet est d'organiser en commun des actions de consultation et de coopération avec le milieu industriel interrégional allemand et lorrain. Une équipe de l'Ecole des Mines de Nancy (D. Ablitzer) s'est récemment associée à nous pour ce projet.

Enfin signalons que nous assurons l'encadrement de nombreux stages en entreprise pour le DESS d'ingénierie mathématique ce qui nous permet d'amorcer et d'entretenir de nombreux contacts avec le milieu industriel.

## 5 Actions nationales et internationales

### 5.1 Niveau national

**Responsabilités nationales et locales assurées par les membres du projet:**

- à l'Inria : Présidence du comité des Projets de l'INRIA-Lorraine (M. Pierre) ; Commission d'évaluation de l'INRIA (O. Coulaud, M. Pierre) ; participation au comité des Projets de l'INRIA-Lorraine (O. Coulaud) ; co-organisation des journées industrielles de l'INRIA pour le programme 6 (M. Pierre) et participation (O. Coulaud, exposé).

- **Dans les instances universitaires** : Conseil National des Universités (Ch. Bernier-Kazantsev) ; Direction de l'IUP-MIAGE de l'Université de Nancy II (S. Benachour) ; CEVU et Conseil d'UFR de Mathématiques et Informatique de l'Université de Nancy II (S. Benachour) ; comité de programme de l'IDRIS (M. Pierre) ; participation au Conseil de Laboratoire de l'Institut Elie Cartan (F. Conrad, O. Coulaud, Ph. Laurençot, M. Pierre, J.-R. Roche, E. Rouy, J. Sokolowski, P. Vuillermot) -le conseil a été renouvelé en novembre-; Commission de spécialistes 25<sup>ème</sup> et 26<sup>ème</sup> sections de l'Université Henri Poincaré Nancy I (S. Benachour, vice-président, F. Conrad, O. Coulaud, J. Sokolowski, M. Pierre, P. Vuillermot, Ch. Bernier-Kazantsev, B. Pinçon, J.-R. Roche, A. Yassine).

- Participation au GDR Conception de formes et calcul scientifique (A. Henrot, M. Hayouni, A. Novruzzi, M. Pierre, J.-R. Roche, J. Sokolowski), au GDR Méthodes variationnelles en météorologie et océanographie (E. Kazantsev), au projet Applications des théories de la mécanique statistique à la paramétrisation de la turbulence océanique de l'Institut National des Sciences de l'Univers (E. Kazantsev)

- Participation aux activités et à l'animation du Centre Charles Hermite, Centre lorrain de compétence en modélisation et calcul à hautes performances:

- O. Coulaud : directeur adjoint du Centre, responsable du Beta-test sur **l'ORIGIN 2000**, responsable du groupe de travail, responsable d'une opération sur le couplage magnéto-hydrodynamique

- J.-R. Roche : comité des bourses, responsable d'une opération sur l'optimisation de formes 3-d

- Ch. Bernier : responsable d'une opération sur la Prédicibilité des circulations océaniques et atmosphériques

- M. Pierre : comité de pilotage.

**Des collaborations ou échanges** fréquents ont lieu avec les équipes suivantes:

- laboratoire de mathématiques de l'université de Besançon (équipes d'analyse non-linéaire et de calcul scientifique : Ph. Bénilan, A. Henrot, J.-M. Crolet, F. Simondon, C. Dupaix...)

- laboratoire de mathématiques de l'université de Strasbourg (V. Komornik et B.P. Rao sont collaborateurs du projet)

- à Grenoble : projet IDOPT (coll. de Ch. Bernier et E. Kazantsev avec J. Blum, F.X Le Dimet ; séjour de 2 mois de Ch. Bernier-Kazantsev) ; Institut Mécanique de Grenoble (coll. de Ch. Bernier-Kazantsev et E. Kazantsev avec J. Verron ; séjour de 4 mois de postdoc de E. Kazantsev ; coll. de A. Yassine avec J.-R. Clermont du labo. de rhéologie). - ENS Lyon (coll. de Ch. Bernier-Kazantsev et E. Kazantsev avec J. Somméria)

- à Nancy : LEMTA (Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée) : J.-P. Brancher, Directeur du LEMTA, est collaborateur du projet ; LCTN (Laboratoire de Chimie Théorique) ; IRH (Institut de Recherches Hydrologiques) ; projets lorrain ISA et RESEDAS

- Centre de mathématiques appliquées de l'Ecole des Mines de Paris à Sophia-Antipolis (J.-P. Marmorat) ; Centre de Robotique de l'Ecole des Mines de Paris (B. d'Andréa-Novel)

- à Paris-Sud : F. Abergel ; livre à paraître prochainement dans les publications de la SMAI avec E. Rouy

- CEREMADE, Paris-Dauphine (visites de E. Rouy) ; laboratoire LMI de l'INSA de Rouen (coll. de A. Yassine avec Ph.D. Tao) ; laboratoire d'Analyse Numérique et EDP, Université de Paris-Sud, Orsay (coll. de Ph. Laurençot avec D. Hilhorst) ; laboratoire de probabilités de Paris VI (coll. de P. Vuillermot avec M. Yor) ; laboratoires de Bordeaux (M. Langlais) et Lyon I (M. Garbey, M. Moussaoui) ; université de Versailles (contacts avec M. Tucsnak), université de Metz (J. Saint Jean Paulin) ; université de Rennes I (M. Crouzeix) ; CMAP, Ecole Polytechnique (coll. E. Sonnendrücker - P.-A. Raviart), CEA Limeil-Valenton (coll. E. Sonnendrücker - F. Assous, P. Ciarlet Jr).

## 5.2 Niveau international

### Collaborations formalisées

- Collaboration avec l'Institut de Mathématiques Numériques (INM) de l'Académie des Sciences de Russie à **Moscou** au sein de l'Institut Liapounov (Ch. Bernier-Kazantsev (resp.), E. Kazantsev, M. Pierre ; à Moscou : V.P. Dymnikov (resp.), membre de l'Académie des Sciences, V.B. Zalesny).

- Projet européen "Mathematical models and methods for climate studies", soutenu par l'**INTAS**

- (E. Kazantsev, Ch. Bernier-Kazantsev, M. Pierre, resp.: F.X. Le Dimet, Projet IDOPT).
- Participation à un projet dans le cadre du programme franco-allemand **PROCOPE** sur les thèmes de frontières libres, contrôle, équations d'évolution non linéaires avec les universités de Essen, Tübingen, Paderborn, Berlin et Besançon pour la France (visites réciproques de chercheurs, colloques ; participants: Ph. Laurençot, F. Conrad, M. Hayouni, D. Schmitt, M. Pierre, B.P. Rao, E. Rouy)
  - . - Projet **TEMPUS** sur l'optimisation de formes avec, en particulier, des universités polonaises (J. Sokolowski, M. Pierre, J.-R. Roche, Ch. Bernier-Kazantsev); le coordinateur est B. Rousselet de Nice. - Projet concerté de coopération scientifique de l'ambassade de France en **Pologne** (Ph. Laurençot). Les responsables en sont Ph. Bénilan (Besançon) et M. Niezgodka (Varsovie)
  - Projet de coopération internationale CNRS-Académie des Sciences de la **République Tchèque** (Ph. Laurençot).
  - Action intégrée avec le **Maroc** en cours, en collaboration avec le laboratoire d'Analyse Numérique d'Orsay. Dans ce cadre, N. Alaa doit soutenir sa thèse d'état en décembre à Marrakech sous la direction de M. Pierre.
  - Suite d'un accord-programme avec l'ENS et l'Université d'Alger ; encadrement de thèses à **Alger** par S. Benachour et M. Pierre.
  - Proposition d'un projet dans le cadre d'**INTERREG** avec les Universités allemandes de Saarbrücken (A. Louis) et Kaiserslautern (W. Neunzert).

**Editions de revues :** J. Sokolowski est rédacteur associé de Control and Cybernetics, éditeur pour les revues Applied Mathematics and Computer Science et Computational Optimization and Applications. M. Pierre est éditeur pour le SIAM Journal on Mathematical Analysis, pour Modélisation Mathématique et Analyse Numérique ( $M^2AN$ ) et pour Control and Cybernetics. V. Komornik est membre du comité de rédaction de Panamerican Math. J.

**Séjours à l'étranger dans d'autres cadres :** Séjours à l'université de Varsovie (Ph. Laurençot), au Weierstraß institut à Berlin (J. Sokolowski, Ph. Laurençot), à l'université de Bilbao (Ph. Laurençot), à l'académie des sciences de la république tchèque, à Prague (Ph. Laurençot), à la faculté des sciences de Marrakech (J.-R. Roche, M. Pierre), à l'université de Gainesville, USA (J. Sokolowski), à l'université de Halle (D. Schmitt), au Forschungszentrum de Karlsruhe (E. Sonnendrücker); aux universités de Delft, de Berkeley, de Stanford, de Zürich, de Constance (P. Vuillermot).

**Autres chercheurs étrangers collaborant avec des membres de l'équipe:** I.D. Chueshov (Kharkov, Ukraine), N. Bubner, J. Sprekels (Berlin), W. Ruess (Essen), G. Leugering (Bayreuth), P. Colli (Turin), E. Feireisl (Prague), G.P. Grabowski (Cracovie, Pologne), O. Morgül (Bilkent, Turquie), D. Wrzosek, K. Piekarski, A. Piasecka, Z. Nahorski (Varsovie), N. Aissa, N. Boudiba, S. Lakhali, F. Smadhi, D. Hamroune (Alger), N. Alaa, A. Gmira (Maroc), B. Zhang (Cincinnati, USA), R.H. Martin (Raleigh, USA), W. Fitzgibbon (Texas, USA), M. Rao (Floride, USA).

**Autres :** Co-organisation de la troisième conférence européenne sur les problèmes elliptiques et paraboliques en juin 97 à Pont-à-Mousson (F. Conrad en coll. avec les universités de Bâle, Zürich, Haïfa) ; Comité scientifique d'un colloque "Approximation of surface shape functionals" à Lamoura (J.Sokolowski).

## 6 Diffusion des résultats

**Conférences invitées :** workshop *Phase Transitions and Surface Tension*, Berlin (Ph. Laurençot) ; AMS-IMS-SIAM Conference on "Optimization Methods in PDE's", USA (J. Sokolowski) ; Intensive school TEMPUS-JEP, Pavia (J. Sokolowski) ; Symposium WCNA 96, Athènes (O. Coulaud); Rencontre sur le thème *Approximation of surface shape functionals* Lamoura (M. Pierre, J. Sokolowski).

**Communications :** *Conference in Nonlinear Analysis*, Kartause Ittingen, Suisse, octobre (Ph. Laurençot) ; colloque international ECCOMAS, Paris, septembre (L. Viry, M. Garbey, O. Coulaud, J.-R. Roche, A. Novruzi) ; Conférence bilatérale des équipes françaises et russes des projets Liapounov et INTAS, Moscou, avril (Ch. Bernier-Kazantsev, E. Kazantsev, M. Pierre) ; Séminaire d'évaluation de l'Institut Liapounov, Moscou (Ch. Bernier-Kazantsev, E. Kazantsev) ; IFIP Workshop on Control

Theory, Boston, USA (V. Komornik, B.P. Rao, J. Sololowski); Conference on Control Theory, Vorau, Autriche (V. Komornik); Séminaire de conclusion du projet franco-européen PROCOPE, Besançon (F. Conrad, M. Hayouni, D. Schmitt, M. Pierre, B.P. Rao); Congrès Analyse numérique, Lalonde les Maures, (A. Novruzi, A. Mifdal, L. Fleuret, B. Salque); Journées du groupe MODE de la SMAI, Université de Limoges (A. Yassine).

#### Exposés à des séminaires :

Colloquium : Universités de Delft et de Constance (P. Vuillermot)

Séminaires : Universités de Zürich, de Lyon et de Besançon (F. Conrad) ; Universités de Californie, Santa-Cruz et Berkeley, de Stanford (P. Vuillermot) ; Université de Chambéry et de Grenoble (E. Kazantsev) ; Université de Paris XI-Orsay (Ph. Laurençot, S. Bénachour) ; Université de Strasbourg (D. Schmitt); ENS Lyon (Ph. Laurençot, M. Pierre) ; Conférence inaugurale Antenne de Bretagne ENS Cachan (M. Pierre).

Un séminaire sur les "Equations aux dérivées partielles et applications" se tient chaque semaine. La responsabilité en a été assurée par P. Vuillermot, puis, depuis la rentrée, par J. Sokolowski. Un groupe de travail s'est réuni toutes les semaines sous la responsabilité de E. Rouy, puis de S. Bénachour.

## Actions d'enseignement

La majorité des membres du projet sont enseignants-chercheurs et s'investissent donc largement dans des actions d'enseignement. Nous en décrivons quelques aspects :

- DEA de Mathématiques (UHP), option Analyse non linéaire et applications. Responsable pour 95-96 et 96-97 : F. Conrad. Ont assuré ou assurent des cours : S. Benachour, Ch. Bernier, F. Conrad, V. Komornik, Ph. Laurençot, M. Pierre, J.-R. Roche, J. Sokolowski, P. Vuillermot.
- DESS d'Ingénierie Mathématique et Outils Informatiques (UHP). Responsable pour 95-96 et 96-97 : F. Conrad. Ont assuré des cours ainsi que l'encadrement de projets et le suivi de stages en entreprise : Ch. Bernier, J.-P. Brancher, F. Conrad, O. Coulaud, J.-R. Roche, B. Pinçon, L. Viry, A. Yassine.
- Autres: Programme de formation aux méthodes d'éléments finis pour des ingénieurs de l'IRSID, en liaison avec le CUCES (F. Conrad (resp.), J.-R. Roche, B. Pinçon). Démarrage d'un enseignement pour l'Ecole des Mines de Nancy en analyse numérique et EDP (F. Conrad, J.-R. Roche).
- Il y a, par ailleurs, de nombreuses interventions des membres du projet dans la licence, les maîtrises, la préparation à l'agrégation de mathématiques de l'UHP ainsi que dans les formations d'ingénieurs nancéiennes.

## 7 Publications

### Livres et monographies

- [586] A. KHLUDNEV, J. SOKOLOWSKI, *Modelling and control in solid Mechanics, International Series of Numerical Mathematics*, Birkhauser Verlag, accepté.

### Thèses

- [587] N. ALAA, *Contribution à l'étude d'équations elliptiques et paraboliques à données mesures*, thèse de doctorat, d'Etat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, décembre 1996.
- [588] J. R. ROCHE, *Algorithmes numériques en optimisation de formes et électromagnétisme*, thèse de doctorat, Habilitation - Université de Nancy 1, octobre 1996.

## Articles et chapitres de livre

- [589] F. ASSOUS, P. CIARLET-JR, E. SONNENDRÜCKER, «Résolution des équations de Maxwell dans un domaine avec un coin rentrant», *C.R. Acad. Sc. Paris* 323, I, 1996, p. 203–208.
- [590] S. BENACHOUR, P. CHASSAING, B. ROYNETTE, P. VALLOIS, «Une étude des processus poreux», *Annali Scuola Norm. Sup. Pise*, accepté.
- [591] S. BENACHOUR, B. ROYNETTE, D. TALAY, P. VALLOIS, «Processus auto-stabilisant I», *Annals of Probability*, accepté.
- [592] S. BENACHOUR, B. ROYNETTE, P. VALLOIS, «Solutions fondamentales de  $u_t - \frac{1}{2}u_{xx} = \pm|u_x|$ », *Astérisque* 236, 1996, p. 41–71.
- [593] S. BENACHOUR, B. ROYNETTE, P. VALLOIS, «Asymptotic estimates of solutions of  $u_t - \frac{1}{2}\Delta u = -|\nabla u|$ », *Journal of Functional analysis*, accepté.
- [594] S. BENACHOUR, B. ROYNETTE, P. VALLOIS, «Processus auto-stabilisant II», *Annals of Probability*, accepté.
- [595] S. BERNFELD, Y. HU, P. VUILLERMOT, «Large-time asymptotic equivalence for a class of non-autonomous semilinear parabolic equations», *J. of Dynamics and Differential Equations*, accepté.
- [596] S. BERNFELD, P. VUILLERMOT, «Asymptotic behavior of solutions of limiting differential equations», *Advances in Nonlinear Dynamics, Stability and Control, Theory, Methods and Applications*, accepté.
- [597] C. BERNIER, E. KAZANTSEV, «Theoretical and numerical estimates of instantaneous Lyapunov exponents of the quasi-geostrophic ocean dynamics», *Applied Mathematics and Computer Science* 6, 2, 1996, p. 223–244.
- [598] C. BERNIER, V. ZALESNY, «Comparaison of numerical algorithms for one dimensional nonlinear vorticity equation», *Okeanlogija* 36, 5, 1996.
- [599] I. CHUESHOV, P. VUILLERMOT, «On the large-time dynamics of a class of parabolic equations subjected to homogeneous white noise : Stratonovitch's case», *C.R. Acad. Sci. Paris* 323, I, 1996, p. 29–33.
- [600] I. CHUESHOV, P. VUILLERMOT, «On the Large-Time Dynamics of a Class of Random Parabolic Equations», *C.R. Acad. Sci. Paris* 322, I, 1996, p. 1181–1186.
- [601] I. CHUESHOV, P. VUILLERMOT, «Long-time behavior of solutions to a class of quasilinear parabolic equations with random coefficients», *Annales de l'IHP, analyse non linéaire*, accepté.
- [602] C. DUPAIX, D. HILHORST, P. LAURENÇOT, «Upper semicontinuity of the attractor for a singularly perturbed phase-field model», *Adv. Math. Sci. Appl.*, accepté.
- [603] S. ELYACOUBI, J. SOKOŁOWSKI, «Domain optimization problems for parabolic control systems», *Applied Mathematics and Computer Science* 6, 1996, p. 277–290.
- [604] E. FEIREISL, P. LAURENÇOT, F. SIMONDON, «Global attractors for degenerate parabolic equations on unbounded domains», *J. Diff. Eq.* 129, 1996, p. 239–261.
- [605] F. GOZZI, E. ROUY, «Regular solutions of second-order stationary Hamilton-Jacobi equations», *J. Diff. Equ.* 130, 1, 1996, p. 201–234.
- [606] A. HENROT, W. HORN, J. SOKOŁOWSKI, «Domain optimization problems for stationary heat equation», *Appl. Math. and Comp. Sc.* 6, 1996, p. 353–374.
- [607] W. HORN, P. LAURENÇOT, J. SPREKELS, «Global solutions to a Penrose-Fife phase-field model under flux boundary conditions for the inverse temperature», *Math. Meth. Appl. Sci.* 19, 1996, p. 1053–1072.
- [608] W. HORN, J. SOKOŁOWSKI, J. SPREKELS, «Control problem with State Constraints for the Penrose-Fife Phase-field model», *Special issue of Control and Cybernetics* 6, 1996.
- [609] V. KOMORNIK, B. RAO, «Boundary stabilization of compactly coupled wave equations», *Asymptotic Anal.*, accepté.

- [610] P. LAURENÇOT, F. SIMONDON, «Comportement asymptotique pour des équations des milieux poreux avec convection», *C. R. Acad. Sci. Paris* 323, I, 1996, p. 375–380.
- [611] P. LAURENÇOT, F. SIMONDON, «Source-type solutions to porous medium equations with convection», *Comm. Appl. Anal.*, accepté.
- [612] P. LAURENÇOT, «Long-time behaviour for a model of phase-field type», *Proc. Roy. Soc. Edinburgh* 126A, 1996, p. 167–185.
- [613] P. LAURENÇOT, «Compact attractor for weakly damped driven Korteweg-de Vries equations on the real line», *Czechoslovak Math. J.*, accepté.
- [614] P. LAURENÇOT, «Weak solutions to a phase-field model with non-constant thermal conductivity», *Quart. Appl. Math.*, accepté.
- [615] R. MARTIN, M. PIERRE, «Influence of mixed boundary conditions in some reaction-diffusion systems», *Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh*, accepté.
- [616] A. MIFDAL, «Stabilisation uniforme d'un système hybride», *C.R.Acad. Sc., Série I*, accepté.
- [617] M. PIERRE, E. ROUY, «A tridimensional inverse shaping problem», *Comm. in P.D.E.*, accepté.
- [618] M. PIERRE, D. SCHMITT, «Blow up results for reaction-diffusion systems with dissipation of mass», *SIAM J. on Math. Anal.*, accepté.
- [619] B. RAO, «A compact perturbation method for the boundary stabilization of the Rayleigh beam equation», *Appl. Math. Opt.* 33, 1996, p. 253–264.
- [620] B. RAO, «Contrôlabilité exacte frontière d'un système hybride en élasticité par la méthode HUM», *C. R. Acad. Sci. Paris*, accepté.
- [621] B. RAO, «Stabilization of a plate equation with dynamical boundary control», *J. SIAM Contr. Opti.*, accepté.
- [622] P. RAVIART, E. SONNENDRÜCKER, «A hierarchy of approximate models for the Maxwell Equations», *Numer. Math.* 73, 1996, p. 329–372.
- [623] J. ROCHE, J. SOKOLOWSKI, «Numerical methods for shape identification problems», *Control and Cybernetics* 25, 5, 1996.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [624] F. ALABAU, V. KOMORNIK, «Boundary stabilization of general linear elastodynamic systems», in : *Actes de la conférence sur la Théorie du contrôle, Boston-USA*, juin 1996.
- [625] E. BEDNARCZUK, M. PIERRE, E. ROUY, J. SOKOLOWSKI, «Calculating tangent sets to certain sets in functional spaces», in : *18th IFIP TC7 Conference on Modelling and Optimization*.
- [626] N. BOUDIBA, M. PIERRE, «Global Existence for gradient-dependent systems with a balance law», in : *Proceedings of the 2nd International Conference on Differential Equations in Marrakech*, à paraître.
- [627] O. COULAUD, E. DILLON, «Early implementation of Para++ with MPI-2», in : *MPI developers conference'96, Notre Dame*, juillet 1996.
- [628] O. COULAUD, M. GARBEY, L. VIRY, «Domain decomposition for singularly perturbed elliptic boundary value problems», in : *Ninth international conference domain decomposition methods for partial differential equations, Bergen, Norvège*, juin 1996.
- [629] O. COULAUD, M. GARBEY, L. VIRY, «Domain decomposition for singularly perturbed elliptic boundary value problems», in : *ECCOMAS 96*, septembre 1996.
- [630] O. COULAUD, «High frequency electromagnetic-hydrodynamic coupling in the treatment of liquid metals», in : *WCNA96, Athènes, Grèce*, juillet 1996.

- [631] V. KOMORNIK, «A general method for the boundary stabilization of linear distributed systems», in : *Actes du colloque "Control theory", Vorau- Autriche*, juillet 1996.
- [632] A. NOVRUZI, J. ROCHE, «Newton method in shape optimization problems : Application to 3 dimensional electromagnetic casting», in : *ECCOMAS 96*, John Wiley & Sons, Ltd, septembre 1996.
- [633] J. SOKOLOWSKI, «Shape optimization and scientific computations», in : *Special issue of Applied Mathematics and Computer Science*, 6, No 2, Session on shape optimization of the parameter systems with applications to engineering, Varsovie, 1996.
- [634] J. SOKOLOWSKI, «Shape optimization and scientific computations», in : *Special issue of Control and Cybernetics*, 25, No 5, GDR-CNRS/TEMPUS-JEP, Varsovie, 1996.
- [635] M. TOLSTYKH, «Global semi-Lagrangian atmospheric model based on compact finite-difference», in : *Proceedings of the ECCOMAS'96 conference*, Wiley, 1996.
- [636] A. YASSINE, «Méthode d'optimisation pour la résolution d'équations non-linéaires dans des problèmes d'écoulement de fluides viscoélastiques», in : *ECCOMAS 96*, Université de Limoges, Quatrièmes Journées du Groupe MODE, mars 1996.

## Rapports de recherche et publications internes

- [637] M. BENMIMOUN, P. VUILLERMOT, «On the long-time behavior of solutions to a class of degenerate parabolic equations», *rapport de recherche n°25*, Institut Elie Cartan, 1996, soumis à C.R. Acad. Sci. Paris.
- [638] C. BERNIER, I. CHUESHOV, «The finiteness of determining degree of freedom for the QG multilayer box ocean model», *rapport de recherche n°RR-3067*, Inria.
- [639] C. BERNIER-KAZANTSEV, M. PIERRE, «Problem of uniqueness of the solution of the multilayer QG ocean model with prescribed upper-layer solution», *rapport de recherche*, Institut de Mathématiques Numériques de Moscou, 1996.
- [640] S. BONAFEDE, D. SCHMITT, «Triangular reaction-diffusion systems with integrable initial data», *rapport de recherche n°20*, Institut Elie Cartan, 1996, soumis à Nonlinear Analysis TMA.
- [641] N. BUBNER, J. SOKOLOWSKI, J. SPREKELS, «Boundary control problems for shape memory alloys under state constraints», *rapport de recherche n°2994*, Inria, 1996.
- [642] P. COLLI, P. LAURENÇOT, «Weak solutions to the Penrose-Fife phase-field model for a class of admissible heat flux laws», *rapport de recherche n°16*, Quaderno del Dipartimento di Matematica, Università di Torino, 1996, soumis à J. Math. Pures et Appl.
- [643] F. CONRAD, O. MORGÜL, «On the stabilisation of a flexible beam with a tip mass», *rapport de recherche n°19*, Institut Elie Cartan, 1996.
- [644] O. COULAUD, «Asymptotic analysis of magnetic induction with high frequency for solid conductors», *rapport de recherche*, Inria, 1996.
- [645] C. FONTE, C. BERNIER, M. ZASADZINSKI, «An algebraic design for the simultaneous stabilization of two systems», *rapport de recherche n°RR-3043*, Inria, soumis à IEEE Transactions on Automatic Control.
- [646] V. KOMORNIK, «Observability, controllability and stabilizability of linear distributed systems», *rapport de recherche n°22*, Istituto per le Applicazioni del Calcolo "Mauro Picone" of the Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, 1996.
- [647] P. LAURENÇOT, D. SCHMITT, «A nonlinear parabolic system modelling tissue inflammation», *rapport de recherche n°36*, Institut Elie Cartan, 1996, soumis à Differential and Integral Equations.
- [648] P. LAURENÇOT, F. SIMONDON, «Long-time behaviour for porous medium equations with convection», *rapport de recherche n°18*, Equipe de Mathématiques de Besançon., 1996, soumis à SIAM J. Math. Ana.
- [649] P. LAURENÇOT, F. SIMONDON, «Source-type solutions to porous medium equations with convection II», *rapport de recherche n°33*, Equipe de Mathématiques de Besançon, 1996, soumis à Rocky Mountain J. Math.

- [650] P. LAURENÇOT, D. WRZOSEK, «Fragmentation-diffusion model. Existence of solutions and asymptotic behaviour», *rapport de recherche n°11*, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Warsaw University), 1996, soumis à Japan J. Industr. Appl. Math.
- [651] P. LAURENÇOT, «Long-time behaviour for diffusion equations with fast convection», *rapport de recherche n°18*, Institut Elie Cartan, 1996, soumis à Annales IHP, Analyse non linéaire.
- [652] A. MIFDAL, «Etude de la stabilisation forte et non uniforme d'un système hybride», *rapport de recherche n°23*, Institut Elie Cartan, 1996.
- [653] J. ROCHE, «Gradient of the discretized energy method and discretized continuous gradient in electromagnetic shaping simulation», *rapport de recherche n°37*, Institut Elie Cartan, 1996, soumis à Applied Mathematics and Computer Science.
- [654] J. SOKOLOWSKI, «Displacement derivatives in shape optimization of thin shells», *rapport de recherche n°2995*, Inria, 1996.
- [655] M. TOLSTYKH, «Global semi-Lagrangian atmospheric model based on compact finite-differences», *rapport de recherche n°23*, WMO/WGNE Research activities in atmospheric and oceanic modelling, 1996.
- [656] J. VANCOSTENOBLE, «Stabilisation faible de l'équation des ondes par un contrôle non linéaire, non monotone», *rapport de recherche*, Institut Elie Cartan, 1996.

## Divers

- [657] F. ALABAU, V. KOMORNIK, «Observabilité, contrôlabilité et stabilisation frontière du système d'élasticité linéaire», soumis à C. R. Acad. Sci. Paris I Math.
- [658] F. ASSOUS, P. CIARLET-JR, E. SONNENDRÜCKER, «Resolution of the Maxwell equations in a domain with reentrant corners», soumis à M3AS.
- [659] P. CIARLET-JR, E. SONNENDRÜCKER, «A decomposition of the electromagnetic field. Application to the Darwin Model», soumis à M3AS.
- [660] O. COULAUD, E. DILLON, «PARA++ : C++ bindings for message passing libraries : user guide, Version 2, <http://www.loria.fr/para++/>».
- [661] O. COULAUD, M. GARBEY, L. VIRY, «Analysis of the Funaro-Quarteroni algorithm for singular perturbation problems», soumis à Siam of Science Computing.
- [662] O. COULAUD, B. PINÇON, «Calcul du potentiel électrostatique d'une molécule plongée dans un solvant», preprint.
- [663] C. FONTE, C. BERNIER, M. ZASADZINSKI, «Simultaneous stabilization conditions of two systems in regards to the Youla-parametrization», soumis à IEEE Transactions on Automatic Control.
- [664] F. GOZZI, E. ROUY, A. SWIECH, «Second order Hamilton-Jacobi equations in Hilbert spaces and stochastic boundary control», preprint.
- [665] E. KAZANTSEV, «Local Lyapunov exponents of the quasi-geostrophic ocean dynamics», preprint.
- [666] E. KAZANTSEV, J. SOMMERIA, J. VERRON, «Subgridscale Eddy parametrization by statistical mechanics in a barotropic ocean model», soumis à J. of Physical Oceanography.
- [667] A. NOVRUZI, J. ROCHE, «Newton method in 3-dimensional shape optimization. Application to electromagnetic casting», preprint.
- [668] A. NOVRUZI, J. ROCHE, «Newton's method in shape optimization. A parallel implementation», soumis à BIT.
- [669] A. NOVRUZI, J. ROCHE, «Second order derivatives, Newton method, application to shape optimization», soumis à SIAM of Sci. Computing.

- [670] A. YASSINE, «Sub-gradient algorithms for computation of extreme eigenvalues of a real symmetric matrix», soumis à Control and Cybernetics.
- [671] A. YASSINE, «Sub-gradient algorithms for solving multidimensional analysis problems of dissimilarity data», soumis à Engineering Optimization.

## 8 Abstract

The project falls into the scope of the applications of mathematics to engineering problem solving. More precisely, it concentrates on models leading to the study of nonlinear partial differential equations according to the three following viewpoints :

- mathematical analysis
- numerical simulation and analysis
- modelization and applications.

Inside this field, our interest may be at various stages of the continuous spectrum going from industrial problems to their numerical treatment: mathematical modelling, theoretical study of the models, description of methods and tools of resolution, analysis of numerical algorithms and numerical simulation. Our main topics of interest can be classified as follows :

- Free boundary problems, shape optimization, control of shapes and connected problems : one of the main application is the control of surfaces in the electromagnetic treatment of liquid metals. Our research concerns the numerical computation of the shapes, their existence and stability, inverse problems like "shapability"; our mathematical approach carries over to many other situations where free boundaries are involved like phase transitions. New applications to molecular chemistry are now also considered.
- Stabilization of flexible structures : underlying applications concern the stabilization of vibrating systems like satellite antennas or flexibles part of robots. Models are mainly wave- beam- or plate-like equations and stabilization is to be obtained by various nonlinear feedbacks.
- Nonlinear evolution problems and applications: emphasis is put on asymptotic behavior (and global existence in time) of some nonlinear evolutions : reaction-diffusion, semi-linear phenomena, models in oceanography and meteorology, predicibility.

A specific effort has been made to develop new competences in parallel computing on the above topics in collaboration with the Charles Hermite Center.

