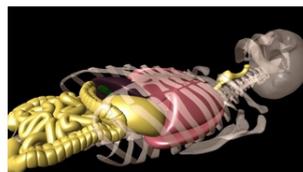
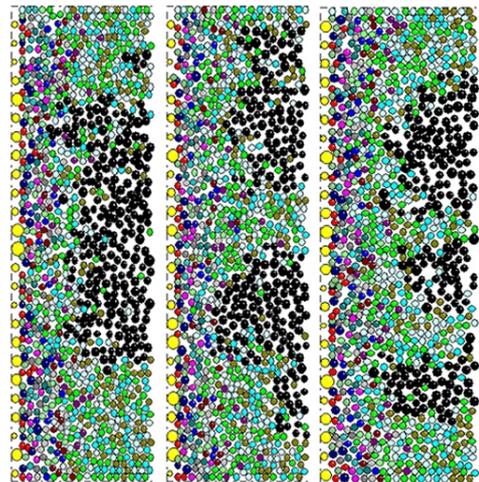
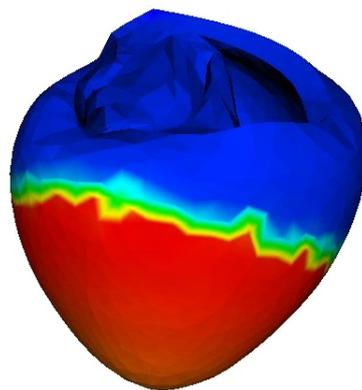


**SMAI'** **MATAPLI**

SOCIÉTÉ DE MATHÉMATIQUES  
APPLIQUÉES ET INDUSTRIELLES



N° 86 • JUIN 2008

COMITÉ DE RÉDACTION

**Rédacteur en chef**

Laboratoire LAMAV - FR CNRS 5142 - Mont Houy ISTV2 - 59313 Valenciennes cedex 9  
Tél. : 03 27 51 19 02 - Fax : 03 27 51 19 00

**Christian Gout**

christian.gout@univ-valenciennes.fr

**Rédacteurs**

**Nouvelles des universités**

Laboratoire MAPMO - UMR 6628 BP 6759 - 45067 Orléans cedex 2  
Tél. : 02 38 41 73 16 - Fax : 02 38 41 72 05

**Maitine Bergounioux**

Maitine.Bergounioux@univ-orleans.fr

**Nouvelles du CNRS**

Laboratoire de modélisation et de Calcul - IMAG  
Université Joseph Fourier, Rue des Mathématiques  
38041 Grenoble cedex 9  
Tl : 04 76 51 46 10 - Fax : 04 76 63 12 63

**Didier Bresch**

Didier.Bresch@imag.fr

**Résumés de livres**

INSA, 20 av. des Buttes de Cosmes, 35043 RENNES Cdex  
Tél. : 02. 23. 23. 82. 00 - Fax : 02. 23. 23. 83. 96

**Paul Sablonnière**

Paul.Sablonniere@insa-rennes.fr

**Résumés de thèses**

INSA, 20 av. des Buttes de Coësmes, 35043 RENNES Cdex  
Tél. : 02. 23. 23. 82. 30 - Fax : 02. 23. 23. 83. 96

**Carole Le Guyader**

carole.le-guyader@insa-rennes.fr

**Du côté des industriels**

Laboratoire de Mathématiques, Université Paris-Sud, 91405 Orsay  
Tél. : 01 69 15 74 91

**Bertrand Maury**

bertrand.maury@math.u-psud.fr

**Du côté des écoles d'ingénieurs**

École centrale de Nantes - BP 92101 - 44321 Nantes cedex 3  
Tél. : 02 40 37 25 17 - Fax : 02 40 74 74 065

**Catherine Bolley**

Catherine.Bolley@ec-nantes.fr

**Info-chronique**

GIP Renater, ENSAM  
151 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris  
Tél. : 01 53 94 20 30 - Fax : 01 53 94 20 31

**Philippe d'Anfray**

Philippe.d-Anfray@renater.fr

**Math. appli. et applications des maths**

Université Joseph Fourier - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9  
Tél. : 04 76 51 49 94 - Fax : 04 76 63 12 635

**Patrick Chenin**

Patrick.Chenin@imag.fr

**Congrès et colloques**

Laboratoire MAPMO - UMR 6628 BP 6759 - 45067 Orléans cedex 2  
Fax : 02 38 41 72 05

**Thomas Haberkorn**

thomas.haberkorn@univ-orleans.fr

**Vie de la communauté**

Unit de Mathématiques Pures et Appliqués, ENS Lyon  
46, Alle d'Italie - 69364 LYON Cedex 07  
Tél. : 04 72 72 85 26 - Fax : 04 72 72 84 80

**Stéphane Descombes**

Stephane.Descombes@umpa.ens-lyon.fr

Couverture. h.g. : Activité électrique du cœur, Lab. Jean Leray-Nantes- h.d. : Modélisation de l'hématopose, équipe M3B-Lyon 1  
b.g. : Utilisation du simulateur SOFA en chirurgie laparoscopique, Lab. Jean Kuntzmann, UJF. b.d. : Propagation des ions K<sup>+</sup>  
dans le milieu extracellulaire lors d'un AVC ischémique, Ins. de Médecine Théorique Ins. Camille Jordan, Univ. Lyon 1.

|  |  |
|--|--|
| MATAPLI - Bulletin n 86- JUIN 2008- Édité par la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles. |  |
| <b>Directeur de la publication</b>   | Denis Talay, Président de la Smai, Institut Henri Poincaré, Paris.                               |
| <b>Publicité et relations extérieures</b>  | G. Tronel - 175, rue du Chevaleret - 75013 Paris<br>Tél. : 01 44 27 72 01 - Fax : 01 44 27 72 00 |
| <b>Composition et mise en page</b>   | Christian Gout   |
| <b>Impression</b>  | STEDI - 1 boulevard Ney - 75018 Paris- Dépôt légal imprimeur                                     |

## Sommaire

SOMMAIRE

|   |     |
|---|-----|
| Éditorial .....   | 3   |
| Compte-rendus des CA et bureaux .....   | 5   |
| En direct des Universités .....   | 13  |
| Vie de la communauté .....  | 15  |
| Mathématiques financières et industrie bancaire .....   | 21  |
| Socle de la Licence de Mathématiques .....  | 35  |
| Collection Mathématiques et Applications .....  | 45  |
| Les publications de la "Real Sociedad Matemática Española" .....  | 49  |
| Les Ecoles Hispano-Françaises Jacques-Louis LIONS de Simulation Numérique<br>en Physique et en Ingénierie (1984 - 2006) ..... | 51  |
| Modélisation mathématique en biologie et en médecine - 2 <sup>ème</sup> Partie .....  | 77  |
| Annonces de thèses .....  | 129 |
| Annonces de colloques .....   | 149 |
| Revue de presse .....   | 153 |
| Liste des correspondants régionaux .....  | 157 |

*Date limite de soumission des textes pour le Matapli 87 : 15 octobre 2008*

*Smai – Institut Henri Poincaré – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris Cedex 05  
Tél : 01 44 27 66 62 – Télécopie : 01 44 07 03 64  
smai@emath.fr – http ://smai.emath.fr*

**PRIX DES PUBLICITÉS ET ENCARTS DANS MATAPLI POUR 2008**

- 250 € pour une page intérieure
- 400 € pour la 3<sup>e</sup> de couverture
- 450 € pour la 2<sup>e</sup> de couverture
- 500 € pour la 4<sup>e</sup> de couverture
- 150 € pour une demi-page
- 300 € pour envoyer avec Matapli une affiche format A4  
(1500 exemplaires)

(nous consulter pour des demandes et prix spéciaux)

*Envoyer un bon de commande au secrétariat de la Smai*

## Editorial

*par* Denis TALAY

ÉDITORIAL

Vous trouverez dans ce numéro le compte–rendu étendu d’une Table Ronde que Marc Yor et Jean–Pierre Kahane avaient organisée à l’Académie des Sciences en avril sur le thème des Mathématiques Financières et leurs implications en matière d’enseignement, de recherche, et de société. Vous trouverez aussi les textes lus en séance par Stéphane Jaffard, président de la SMF, et par moi–même, ainsi qu’un texte où Jean–Pierre Kahane exprime ses diverses préoccupations. Le dossier n’est pas fermé : le prochain numéro de Matapli contiendra d’autres contributions sur ce sujet important.

Serge Piperno et moi sommes en train de redynamiser l’opération « Livre Blanc sur la valorisation du diplôme de Docteur en Mathématiques Appliquées dans l’Industrie ». Cette opération a commencé il y a un peu plus d’un an ; par manque de temps, nous l’avons laissée en jachère depuis le début de cette année. Néanmoins plusieurs industriels, parfois de manière très détaillée, nous ont déjà adressé leurs opinions. Nous aimerions étoffer le dossier. Aidez–nous en nous transmettant les coordonnées de vos contacts industriels de haut rang et/ou vos propres avis. Il faut que ce Livre Blanc soit un utile élément de réflexion sur l’évolution de nos formations doctorales, un levier de leur valorisation auprès des industriels, et une occasion de bien mettre en lumière que notre communauté forme, non seulement des enseignants–chercheurs brillants, mais aussi des modélisateurs et des numériciens qui, forts de techniques et de méthodes de travail acquises pendant leur doctorat, apportent des compétences indispensables au développement d’innovations technologiques et industrielles.

## ÉDITORIAL

---

Un prix SMAI exceptionnel a été attribué en février à l’occasion d’une conférence, organisée en l’honneur de Robert Dautray, sur le transfert radiatif et ses applications. Le prix a été décerné à Jean-François Clouet (CEA) et Thierry Goudon (INRIA). La prochaine journée EDP-Probab, fin septembre, leur donnera l’occasion d’exposer leurs résultats récents et nous donnera l’occasion de rendre à nouveau hommage aux travaux de Robert Dautray.

Le CANUM 2008 va bientôt s’ouvrir. A l’évidence ce sera une belle fête de l’Analyse Numérique. Bravo et merci aux organisateurs : Emmanuel Audusse, Christophe Besse, Jean-François Coulombel, Louis Dupaigne, Olivier Goubet, Thierry Goudon, Laurence Halpern, Pauline Lafitte, Benoit Merlet, Serge Nicaise, Colette Picard, Hassane Sadok.

Quatre membres du Conseil d’Administration ne se représentent pas : François Alouges et Jean-François Boulier manquent de disponibilité pour continuer ; Maitine Bergounioux et Colette Picard achèvent leur troisième mandat consécutif. Merci à eux quatre pour avoir, à des titres divers, apporté leur concours utile aux travaux du Conseil. Merci particulièrement à Maitine pour avoir longtemps été, avec une belle réussite, aux commandes de Matapli, et à Colette, mémoire sans faille de la SMAI, pour son incroyable dévouement au jour le jour et sa gentillesse souriante.

Denis Talay  
Président de la SMAI

## Comptes-rendus de la SMAI

*par* Serge PIPERNO

### Compte-rendu du Bureau de la SMAI du 19 février 2008

*Au téléphone* : J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, C. Picard, S. Piperno (rédacteur), D. Talay.

#### 1. Fonctionnement SMAI

- la date du prochain CA est arrêtée au 18/3/2008 (14h).
- il faut avancer dans la détermination des dates de l'Assemblée Générale de la SMAI (précédée d'un CA et d'un bureau avec présentation des comptes et de l'organisation des élections pour le renouvellement des membres du CA).
- le wiki du bureau SMAI fonctionne.
- après examen des propositions de mandat, il est décidé de ne pas confier (pour l'instant) un mandat de gestion pour les avoirs de la SMAI.

#### 2. Adhésions

- adhésions conjointes avec la Société Bernoulli : D. Talay a été contacté par Jean Jacod, actuel président de la Société Bernoulli pour monter des adhésions conjointes (réductions pour les deux adhésions). Le bureau est plutôt favorable pour proposer aux membres de la Société Bernoulli une adhésion à la SMAI à un tarif préférentiel et demander une réciprocité (tarif d'adhésion réduit à la Société Bernoulli pour les membres de la SMAI).
- déclaration d'utilité publique de la SMAI : elle avait été envisagée par le passé : le jeu ne semble pas en valoir la chandelle.
- la liste des membres de la SMAI de chaque labo est en train d'être mise à jour par nos correspondants régionaux ; par ailleurs, la base de données pour la mail-liste liste-smai a été nettoyée et simplifiée.

#### 3. Publications

- nouveau Journal "MathematicS In Action" : le Cedram est prêt à mettre en place le site du journal ; un premier site web test existe déjà.
- l'idée a été proposée d'automatiser le contact entre les organisateurs de colloques qui ont demandé et obtenu le parrainage de la SMAI et EDP Sciences.

---

COMPTES RENDUS CA & BUREAU

**4. Prix**

- le prochain prix Natixis-SMAI sera remis en 2009.
- il est envisagé de pérenniser le prix 2008 SMAI-Robert Dautray sur le transfert radiatif et de créer un prix décerné par l'Académie des Sciences.

**5. Relations internationales**

- ICIAM : la SMAI, la SIMAI et la SEMA doivent proposer 3 noms pour le jury du Prix Lagrange : Maria J. Esteban est mandatée par la SMAI ; par ailleurs, la SMAI souhaite continuer à apparaître très clairement comme sponsor (avec les deux autres sociétés) pour ce prix.
- EMS : le nouveau président de l'EMS fait des efforts visibles pour transmettre les informations et consulter les sociétés savantes nationales ; une réunion des présidents est organisée au CIRM fin avril (26-27 avril) ; il faudrait que la SMAI y soit représentée, de même qu'au conseil de l'EMS (avant le congrès EMS d'Amsterdam).
- école Franco-Espagnole : l'Ambassade de France en Espagne finançait traditionnellement les missions des enseignants Français ; l'INRIA sera sollicité ; la SMAI pourrait payer au cas où.

**6. Relations nationales**

- journée SMAI-Association Française de Mécanique : l'AFM a contacté la SMAI pour organiser une journée scientifique commune ; le bureau donne son accord de principe. Il suggère d'associer le comité de liaison du GT GAMNI pour l'organisation et la proposition d'orateurs.
- SMAI'2009 : il est proposé de faire un prochain point sur l'organisation de SMAI-2009 (notamment la composition du Comité Scientifique, tel que prévu dans la Convention habituellement signée).
- débat sur l'avenir des mathématiques : le débat est riche autour de questions comme l'avenir des mathématiques l'Université, celui du CNRS, etc... La SMAI peut espérer être associée à la réflexion ou aux discussions préliminaires. Il pourrait être judicieux d'en discuter en CA.
- Colloque "Maths à venir" : Jean-Pierre Puel va mener à bien le projet de rédaction d'un document SMAI de prospective ; le but premier de ce colloque était de rendre public un rapport commun de prospective (avec la SMF et la SFDS) et de lancer un débat ; les événements et décisions politiques récentes ont contribué à déplacer cet objectif sur un plan plus politique. Il est urgent de le redéfinir précisément.

**Compte-rendu – CA SMAI – 18 mars 2008**

*Présents.* G. Allaire, F. Alouges, D. Chapelle, P. Chenin, S. Cordier, J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, E. Godlewski, C. Gout, P. Lafitte, P. Lascaux, J. Mairesse, M. Mongeau, S. Piperno, D. Talay.

*Excusés et/ou représentés.* M. Bouhtou, J.-F. Boulier, J.-B. Hiriart-Urruty, M. Langlais, M. Lavielle, C. Le Bris, B. Lucquin, C. Picard, B. Prum, R. Touzani. *Absents.* M. Bergounioux.

*Invités.* R. Abgrall (SMAI-GAMNI, excusé), G. Carlier (SMAI-MODE, absent), J.-F. Delmas (SMAI-MAS, présent), V. Girardin (représentante de la SMF, présente), M.-L. Mazure (SMAI-AFA, absente), B. Garel (représentant de la SFdS, absent).

**1. échanges électroniques depuis le dernier CA**

• Décisions :

- Marc Hoffmann et Damien Lambertont ont été nommés éditeurs-en-chef de la revue ESAIM P&S
- la structure de la nouvelle Commission Enseignement a été approuvée : coordonnée par un(e) Délégué(e) Enseignement, elle regroupe des chargés de mission (éventuellement en binômes) pour chacun des dossiers importants de la commission, parmi lesquels "Formations universitaires", "Commission des Titres de l'Ingénieur", "Animaths et animations diverses vers les jeunes", "Action Sciences", etc... Le (ou la) Délégué(e) Enseignement est aussi chargé(e) d'organiser la circulation d'informations au sein de la commission et de veiller à ce que chaque chargé de mission rapporte au CA, ou demande un vote électronique, chaque fois que c'est nécessaire.
- la composition suivante de la Commission Enseignement a été approuvée :
  - Déléguée Enseignement : E. Godlewski
  - texte sur le "socle L" : E. Godlewski et B. Lucquin
  - Représentation de la SMAI dans le collectif 'Action Sciences' : J.-M. Bonnisseau
  - Représentant de la Smai au comité scientifique des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques et la Commission Française pour l'Enseignement des Mathématiques) : S. M. Kaber
  - évolution et devenir des concours des recrutements d'enseignants de l'enseignement secondaire (Capes, Agrégation, IUFM,...) : J.-B. Hiriart-Urruty
  - Actions d'enseignement en mathématiques appliquées dans les pays en voie de développement : B. Lucquin

## COMPTE RENDUS CA & BUREAU

---

- Animaths et animations diverses vers les jeunes : S. Cordier
- Commission des Titres de l'Ingénieur (CTI) : D. Maignon
- le texte "Projet de Socle L." a été approuvé par le CA de la SMAI.

- Informations :

Les informations suivantes ont été transmises au CA : composition du comité éditorial de la collection "Mathématiques & Applications", composition du nouveau comité éditorial de la revue "ESAIM Proc". Il est rappelé que les comptes-rendus des CA et des bureaux de la SMAI sont disponibles sur le site de la SMAI. A cette occasion, le CA remercie chaleureusement Pauline Laffite, Maria Esteban et Colette Picard pour l'investissement lourd qu'elles ont consacré au nouveau site web de la SMAI, outil moderne indispensable au développement de notre société et s'avérant d'un emploi aisé. Les membres du CA sont d'ailleurs appelés à faire des remarques sur le site, qui est facile à modifier. Enfin, J.-B. Hiriart-Urruty précise ce qu'il a dit lors du précédent CA : l'édition 2007 du Prix Fermat de recherche mathématique 2007 est en fait sponsorisée par la région Midi-Pyrénées.

- Appels contribution envoyés au CA :

- collecte de contacts industriels de "haut niveau" ;
- avis sur la numérisation des anciennes publications SMAI ;

### 2. Point rapide sur certains dossiers

- relations industries : la collecte de contacts industriels est en cours, tous les administrateurs qui n'ont pas encore répondu sont priés d'envoyer leurs listes d'adresses à Patrick Lascaux ; P. Lascaux a fait parvenir après le CA un mail générique d'approche pour les contacts industriels de deuxième niveau ;
- finances : après examen des propositions de mandat, il est décidé de ne pas donner suite. Certains de nos avoirs seront mus en livret d'épargne la Banque Postale.
- sites matexo et exo7 : le projet exo7 (bibliothèque d'exercices de mathématiques) demandait un hébergement dans le domaine emath.fr au même titre que matexo. Il a été proposé d'apparaître comme un pointeur sur la page de matexo.
- la pérennisation du prix 2008 SMAI-Robert Dautray sur le transfert radiatif est envisagée, sous une forme précise à déterminer, avec un intitulé proche de "mathématiques appliquées à la physique". Il faudra veiller à le différencier du prix Blaise Pascal.

### 3. Nouvelles des Groupes Thématiques

- GT AFA : élection du comité de liaison lors de la journée "Modélisation Géométrique et Approximation" (14/3) : G. Albrecht (univ. de Valenciennes), B. Becker-

---

COMPTES RENDUS CA & BUREAU

mann (univ. de Lille), P. Chenin (responsable financier, univ. de Grenoble), O. Gibaru (ENSAM Lille), C. Gout (univ. de Valenciennes), M.-L. Mazure (responsable, univ. de Grenoble), J.-L. Merrien (secrétaire, INSA de Rennes), V. Perrier (univ. de Grenoble). Les 15 et 16 mai 2008 auront lieu Lille les "Journées Approximation". Le GT SMAI-AFA est également associé à l'organisation de la 7ième conférence internationale "Mathematical Methods for Curves and Surfaces" du 26 juin au 1er juillet 2008 (en Norvège). Enfin, du 24 au 28 novembre 2008, auront lieu les Rencontres "Approximation, Modélisation Géométrique et Applications", au CIRM Luminy, organisées par B. Beckermann, A. Cohen, J.-D. Boissonnat et M.-L. Mazure.

- GT GAMNI : les 28/29 janvier ont eu lieu le 20ème séminaire de Mécanique des Fluides Numérique, pour lesquelles des films des présentations sont en test au CEA. Il est suggéré de créer une page "pointeurs" films ou documents sur le site de la SMAI.
- GT MAS : parmi les activités prévues, une "Journée Evolution en biologie" organisée conjointement avec la SFdS (Lundi 7 avril 2008 l'Institut Henri Poincaré), une "Journée des jeunes statisticiens et probabilistes" (avril 2008), "Journées MAS 27 et 28 août. La question du rapatriement à la SMAI (puis au GT) des éventuels excédents a été posée. Ce mouvement financier est très difficile à mettre en place, et il est fortement conseillé, même si un organisme autre que la SMAI assure la responsabilité financière d'un évènement, que la SMAI puisse toujours en assurer une partie, de manière à pouvoir opérer des compensations.
- GT MODE : en février ont eu lieu les "Journées MODE", accolées au congrès annuel de la Roadef.
- intervention de J. Mairesse à propos d'un éventuel GT "Maths appliquées à l'informatique et aux réseaux" : l'existence du GdR "Informatique mathématique" (dirigé par Brigitte Vallée, 16 groupes de travail, 1200 membres !) et celle d'un GT de la SMAI pourrait faire des doublons. Jean Mairesse est invité à contacter Laurent Decreusefond (ENST) qui a commencé réfléchir sur la question et a lui-même pris des contacts.

#### 4. Publications

- revue "MathematicS In Action" : le comité éditorial a été composé et le site [www](http://msia.cedram.org/) a été ouvert (<http://msia.cedram.org/>) ; le CA remercie chaleureusement Jérôme Droniou pour le montage avec le Cedram de l'hébergement électronique de *MathematicS In Action*, ce qui a été déterminant pour le démarrage rapide de ce nouveau journal ;

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

- mode de désignation et mandats des éditeurs en chef et comité éditoriaux de nos revues, des directeurs et comités de lecture des collections : quelques corrections d'un texte proposé par J. Droniou ont été suggérées par le CA. Le texte sera soumis au CA pour approbation.

### 5. Relations extérieures

- la pétition pour Ibni Oumar Mohammed Saleh a recueilli plus de 1300 signatures et devrait être prochainement relayée à l'étranger ;
- A. Damlamian et I. Ekeland représenteront la SMAI au prochain conseil ICIAM à Vancouver ;
- une réunion des présidents de sociétés savantes mathématiques européennes aura lieu au CIRM au printemps, à l'initiative de l'EMS ;
- la 13<sup>me</sup> école J.-L. Lions Franco-Espagnole sur la Simulation Numérique en Physique et Ingénierie, aura lieu à Valladolid (15-19 septembre) : elle est principalement destinée aux jeunes diplômés ou à des ingénieurs qui souhaitent s'initier à la Simulation Numérique.

### 6. Commission enseignement

Edwige Godlewski a présenté brièvement son équipe, les dossiers en cours, et les dossiers ou missions pour lesquels il reste encore des bonnes volontés à trouver : dossier "formations universitaires" (trouver des gens impliqués dans l'enseignement aux niveaux Licence, Master), "débouchés, relations entreprises", et aussi (suite la loi LRU) quelqu'un qui suivrait le dossier "recrutement des enseignants-chercheurs", en liaison avec l'opération Postes.

### 7. Discussions

- La SMAI doit-elle se doter d'une "Commission sur la communication grand public" ?  
Cette structure, qui existe la SMF, pourrait être utile (on peut aussi examiner l'opportunité de la mettre en commun avec une autre société). Le CA va récolter quelques noms de gens ayant ce type d'activité ;
- La SMAI doit-elle prendre position sur l'évolution du CNRS et des universités, et comment ? Sur la base des quelques idées discutées ci-dessous, il est décidé de réécrire une lettre à la Ministre pour dire que la SMAI aimerait être associée aux discussions :
  - si la SMAI émet une opinion, elle doit être évidemment limitée au domaine des mathématiques appliquées et industrielles ;
  - la SMAI n'a pas vocation à se prononcer sur des options politiques, elle peut néanmoins essayer d'intervenir dans le processus de décision ;

## COMPTE RENDUS CA & BUREAU

---

- le CA de la SMAI ne peut se prétendre représentatif des adhérents sur le plan politique, et il est difficile de connaître ou prendre l’avis des adhérents (probablement multiple) ;
- il est plus difficile pour la SMAI d’émettre une opinion, que pour un syndicat professionnel ou un institut ;
- Colloque ”Maths à venir” : le colloque ne s’appuiera finalement pas sur un document de prospective commun SMAI-SMF-SFDS ; un document de perspective propre à la SMAI (J.-P. Puel) est en cours d’élaboration et sera bientôt prêt. La balle est dans notre camp pour fixer la date d’une réunion SMAI-SMF-SFDS sur le contenu et le schéma d’organisation du colloque.
- Livre Blanc : ce projet a besoin d’un souffle nouveau. Les bonnes volontés du CA ou ailleurs sont les bienvenues ! Rappel : il s’agit de rassembler des opinions d’industriels ou universitaires sur l’intérêt ou non d’un diplôme de doctorat en mathématiques appliquées.

### 8. Questions diverses

- présence au prochain Salon Européen de la Recherche & Innovation (5-7 juin, Paris) : nous déclinons l’offre, peut-être pourrions-nous faire passer des dépliants SMAI via une association amie.
- nouveaux correspondants régionaux : le CA accueille toutes les bonnes volontés, et souhaite à cette occasion remercier chaleureusement tous ses correspondants régionaux, rejoints par Alexandre Popier (correspondant régional pour la région du Mans). Le CA le remercie vivement.

### Compte-rendu – Bureau SMAI – 6 mai 2008

**Au téléphone :** J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, P. Lascaux, C. Picard, S. Piperno, D. Talay.

#### 1. Présentation des Comptes 2007

Robert Eymard, trésorier de la SMAI, a commenté un document préparatoire présentant les comptes de la SMAI pour l’exercice 2007, en vue de leur approbation par le Conseil d’Administration du 21 mai 2008.

Plusieurs questions annexes, relatives à notre gestion financière, ont été abordées :

- activité de notre expert comptable ;
- achat d’un nouveau PC (il est urgent de changer la machine actuelle) équipé

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

du logiciel CIEL pour transfert de la comptabilité de la SMAI vers un logiciel standard, pour lesquels le bureau donne un avis favorable ;

- la question de la répartition des actifs de la SMAI sur des produits financiers plus ou moins risqués est toujours ouverte : il faut prendre une décision.

### 2. Agenda de la SMAI

- choix d’une date pour un prochain CA à lancer (période 15/6-15/7)
- les membres du bureau sont sollicités pour constituer l’Ordre du jour du bureau étendu aux Groupes Thématiques du 22 mai 2008 ;
- le report de l’Assemblée Générale, prévue le 22 mai 2008 14h, jour de grève annoncée, a été envisagé mais écarté.
- l’opération “livre blanc du doctorat” doit être relancée ;

### 3. Publications

- Le bureau éprouve de grandes difficultés à joindre la ROADEF pour gérer le renouvellement des éditeurs en chefs de la revue RAIRO-RO ; nous nous accordons un délai (jusqu’au prochain CA) avant de réfléchir aux dispositions à prendre.
- Le texte final détaillant les modes de nomination des éditeurs en chefs de nos revues doit être envoyé au CA pour approbation ;
- point d’avancement sur la réflexion stratégique sur l’avenir de nos revues.

### 4. Relations extérieures et internationales

Un bref point a été consacré à nos relations avec divers instituts et sociétés savantes avec qui nous collaborons.

M. Esteban a brièvement rapporté les conclusions de plusieurs réunions dans le cadre de nos relations internationales.

### 5. Manifestations diverses

Une discussion brève a concerné la gestation d’une cellule “Relations grand public” à la SMAI, et sur la façon de solliciter les bonnes volontés.

## En direct des universités

par Maïtine BERGOUNIOUX

### CNU 26

Le nouveau CNU 26<sup>e</sup> section s'est mis en place à l'automne. Les nouveaux membres sont :

| <b>Membres élus</b>   |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| Collège A             | Collège B                 |
| ALABAU Fatiha         | ADDI Khalid               |
| ALOUGES François      | ARTAUD Michèle            |
| BERGOUNIOUX Maïtine   | AUSSEL Didier             |
| BETHUEL Fabrice       | BARDET Jean Baptiste      |
| COQUET François       | COLIN Mathieu             |
| DEBUSSCHE Arnaud      | DORDAN Olivier            |
| DEHEUVELS Paul        | HARDOUIN Cécile           |
| GAMBOA Fabrice        | HUARD Alain               |
| KABANOV Youri         | LE ROUSSEAU Jérôme        |
| MERLE Frank           | MIEUSSENS Luc             |
| MOHAMMADI Bijan       | OULD SAID Elias           |
| ROUAULT Alain         | PETIOT Jean-François      |
| SAPORTA Gilbert       | RACHDI Mustapha           |
| SUQUET Charles        | RAINER Catherine          |
| TOUZANI Rachid        | SALAM Ahmed               |
| VOLLE Michel          | ZANI Marguerite           |
| <b>Membres nommés</b> |                           |
| Collège A             | Collège B                 |
| ESTRADE Anne          | DAMBRINE Marc             |
| GAVAGE Sylvie         | DESOLNEUX Agnès           |
| GLORIAN Marie-Jeanne  | DUROT Cécile              |
| GOUDON Thierry        | GENIEYS Stéphane          |
| HORVATH Charles       | JAMING Philippe           |
| NGUIFFO BOYOM Michel  | LE BRIZAUT Jean-Sébastien |
| SARAMITO Bernard      | MAITRE Emmanuel           |
| SONNENDRUCKER Eric    | TOROSSIAN Charles         |

## EN DIRECT DES UNIVERSITÉS

Le Président est Fabrice Bethuel (Université Paris 6), le Vice-Président A, Charles Suquet (Université de Lille) et le Vice-Président B, Alain Huart (Toulouse) et assesseur, Didier Aussel (Université de Perpignan).

La session de qualification a eu lieu du 28 au 30 janvier 2008. À cette occasion le CNU a réaffirmé ses inquiétudes par rapport à certaines dispositions de la LRU en votant la motion suivante :

*« La 26ème section du CNU réunie en session plénière a débattu des compte-rendus de la rencontre du 17/12/2007 entre Madame la Ministre de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche et les bureaux des sections CNU ainsi que de l'AG de la CP-CNU du 15/01/2008. La section rappelle ses vives inquiétudes concernant les carrières et les statuts des enseignants-chercheurs dans le cadre de l'entrée en vigueur de la loi du 10 août 2007 (Loi LRU)*

*Les fonctions, la composition et le mode de désignation des comités de sélection rompent brutalement avec les principes de représentativité, de collégialité et d'évaluation par les pairs qui fondaient les commissions de spécialistes. La 26ème section proteste notamment contre*

- L'absence de toute élection des membres des comités*
- L'abandon de la parité A/B pour le recrutement des Maîtres de Conférences*
- L'absence de délimitation disciplinaire des comités de sélection*
- Le transfert de la compétence de jury de concours au CA restreint chargé seul d'établir un classement*

*L'attribution exclusivement locale des primes d'Encadrement Doctoral et de Recherche contrevient au principe d'évaluation par les pairs de la discipline. La 26ème section du CNU soutient la demande de la CP-CNU d'une gestion transparente nationale et disciplinaire de 50% des attributions de PEDR par les sections CNU.*

*L'article 19 de la loi LRU permet aux présidents de recruter des agents contractuels en CDI pour assurer des fonctions d'enseignant-chercheur (nouvel article L954-3 du code de l'éducation). La 26ème section du CNU s'oppose à cet abandon du statut de la fonction publique. Elle demande au moins que la qualification CNU soit une condition nécessaire pour les candidats à un tel recrutement. »*

3 personnes ne prennent pas part au vote -1 abstention - 40 pour

Le bilan des qualifications et des promotions (les réunions se sont tenues du 13 au 15 mai 2008) fera l'objet d'un article ultérieur. Enfin, un nouveau calendrier pour la campagne de qualification est soumis à l'ensemble des sections CNU. Il s'agit notamment d'avancer la date des réunions du 2 au 30 janvier 2009 pour permettre une plus grande flexibilité dans le recrutement des universités (prévue par la LRU). De ce fait la date limite de soutenance des thèses devrait être fixée au **1<sup>er</sup> décembre 2008** (et l'année suivante au 23 novembre 2009).

## Vie de la communauté

### PRIX ET RÉCOMPENSES

#### Prix de thèse GAMNI : Vincent Levasseur

Vincent Levasseur, lauréat du prix de thèse GAMNI pour la meilleure thèse 2006 en “calcul scientifique et analyse numérique apportant des contributions significatives aux sciences de l’ingénieur”.

Vincent Levasseur a 28 ans, et il est actuellement chez Dassault Aviation où il a fait sa thèse après un diplôme d’ingénieur de l’ENSHMG (Grenoble). Cette thèse, intitulée “Simulation des grandes échelles en éléments finis stabilisés : une approche variationnelle multi-échelles”, a été effectuée sous la direction de Pierre Sagaut (Paris 6) avec un financement de la Délégation Générale à l’Armement.

Au delà du contenu technique de la thèse, résumé ci-dessous par le lauréat lui-même, il faut noter que les méthodes développées ont été implémentées dans un code de calcul de Dassault Aviation, et testées en vraie grandeur sur des exemples d’intérêt industriel. Ces travaux ont par ailleurs conduit à trois articles déjà publiés dans des revues de premier plan, ainsi qu’à plusieurs présentations dans des conférences internationales.

En conclusion, en reconnaissance de la qualité et de l’impact de ses travaux, le SMAI-GAMNI est heureux de décerner son troisième prix de thèse à Vincent Levasseur.

*Pour le SMAI-GAMNI : Dominique Chapelle (président du jury)*

Titre de la thèse : Simulation des grandes échelles en éléments finis stabilisés : une approche variationnelle multi-échelles par Vincent Levasseur (Dassault Aviation).

Résumé de la thèse : Pour un avionneur comme Dassault-Aviation, les besoins en simulation numérique pour l’aérodynamique soulèvent de nombreux problèmes autant du point de vue de la modélisation physique que numérique. Les régimes d’écoulements mis en jeu dans les situations “standards” de vol sont à la fois compressibles, turbulents et souvent fortement instationnaires. L’enjeu de ces

travaux de thèse est de proposer de nouveaux moyens de calculs à des fins industrielles, autorisés aujourd’hui par la puissance des calculateurs. La Simulation des Grandes échelles s’est, depuis plusieurs années déjà, affirmée comme un outil précieux pour l’étude des écoulements turbulents, et apparaît comme un bon compromis entre précision, ou modélisation, et coût de calcul. Le principe est de modéliser une partie de l’écoulement turbulent, à savoir les plus petites structures, par le biais d’un modèle sous-maille, et de calculer les grandes échelles tourbillonnaires porteuses d’énergie. Le modèle de Smagorinsky, classique et très facilement implantable dans un code structuré ou non, permet d’obtenir de très bons résultats en turbulence isotrope dans des codes très précis, c’est-à-dire où l’erreur de différentiation est petite devant l’erreur de discrétisation. En revanche, il s’avère mal adapté aux cas d’écoulements non homogènes car il suppose que le simple fait de s’assurer d’un transfert d’énergie correct entre les différentes échelles suffit à décrire l’effet des échelles sous-mailles sur le champ résolu. Les procédures dynamiques, comme l’approche de Germano et Lilly, permettent d’éviter ce problème en prenant en compte la dissipation numérique, et en adaptant la viscosité turbulente aux propriétés locales de l’écoulement par le biais d’une pseudo-constante fonction du temps et de l’espace. Cependant ces méthodes souffrent d’instabilités numériques et sont très difficilement généralisables sur des maillages non structurés.

Hughes et co-auteurs [4], en se basant sur une décomposition multi-échelles de l’écoulement, proposent, au lieu de modifier la constante du modèle sous-maille, de réduire le support de la viscosité turbulente en rendant plus locales les interactions triadiques. Ainsi, la formulation originale de ces modèles dits variationnels multi-échelles (VMS) repose sur trois principes fondateurs :

- une reconstruction partielle des échelles sous-maille ;
- une projection variationnelle a priori préférée à une opération de filtrage pour séparer les grandes échelles résolues des petites échelles reconstruites ;
- les grandes échelles résolues et les échelles sous-mailles sont supposées suffisamment distantes de sorte qu’elles n’interagissent pas ensemble.

Cependant, Sagaut et Levasseur [3] ont montré qu’à très haut nombre de Reynolds l’omission des transferts énergétiques distants produit une accumulation non physique d’énergie entre les grandes et les petites échelles résolues. L’utilisation d’un filtrage gaussien en lieu et place de l’opération de projection variationnelle orthogonale est alors préconisée et permet de corriger ce problème. Une formulation filtrée et compressible des modèles VMS a donc été proposée en éléments finis [2], à travers une méthode Galerkin/moindres-carrés en variables entropiques. La structure de l’algorithme reste très proche des modélisations classiques de type Smagorinsky, tout en permettant de très bons résultats : les trans-

ferts énergétiques représentatifs de la cascade de Kolmogorov sont très bien décrits [1]. En effet, par la réduction du support de la viscosité sous-maille, et en intégrant dans le modèle une information issue des plus petites échelles – celles soumises à la dissipation numérique – on obtient un juste équilibre entre dissipation numérique et dissipation sous-maille.

La méthode SGE ainsi proposée a été mise à l'épreuve sur une configuration complexe rencontrée dans l'industrie aéronautique : les écoulements compressibles au-dessus d'une cavité ouverte. Citons par exemple le “bruit de trappe” lors des phases de décollage et d'atterrissage, mais aussi les endommagements structurels possibles dus au couplage fluide-structure. La dynamique de ces écoulements observée par l'ONERA et QinetiQ est encore mal comprise. En particulier, il existe à l'intérieur de la cavité des couplages aéro-acoustiques, et des modes hydrodynamiques et acoustiques purs. D'un point de vue industriel, le couplage aéro-acoustique, principalement basse fréquence (modes de Rossiter), peut s'avérer particulièrement dommageable pour la structure. Si la faisabilité de la technique de Simulation des Grandes échelles a déjà été démontrée, l'objectif est maintenant d'améliorer la compréhension du fonctionnement des dispositifs de réduction de la charge aérodynamique dans la cavité. Deux dispositifs ont été testés : un barreau cylindrique transverse à l'écoulement et un spoiler rectangulaire posé sur la plaque amont. L'idée commune est de perturber la couche de mélange pour rompre la boucle de rétro-action à l'origine du système d'oscillations auto-entretenues. Les calculs ont montré un gain effectif sur les fluctuations moyennes de pression d'environ 3 à 4 dB pour les deux perturbateurs. Un effet de déflexion de la couche de mélange, réduisant l'impact de structures tourbillonnaires sur la paroi aval de la cavité, est en partie responsable du contrôle de l'écoulement. Toutefois, les phénomènes dynamiques induits par chacun des deux dispositifs se sont avérés très différents. En effet, le spoiler semble affecter de manière importante le mécanisme de formation des modes de Rossiter. Au contraire, le barreau n'a pas paru rompre la boucle de rétro-action, mais a permis de diminuer le niveau de bruit global. Les derniers travaux en cours, menés avec L. Larchevêque (université de Marseille) visent à mettre en évidence d'éventuels couplages d'échelles entre le sillage du perturbateur et la couche de mélange se développant au-dessus de la cavité.

[1] Levasseur, V. and Sagaut, P. and Mallet, M., Subgrid models for large-eddy simulation using unstructured grids in a stabilized framework, *J. Turbulence* 28-7, 2006.

[2] Levasseur, V. and Sagaut, P. and Chalot, F. and Davroux, A., An entropy-variable-based VMS/GLS method for the simulation of compressible on unstructured grids, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.* 195, p. 1154-1179, 2005.

- [3] Sagaut, P. and Levasseur, V., Sensitivity of spectral variational multiscale methods for large-eddy simulation of isotropic turbulence, *Phys. Fluids* 17, 2005.  
[4] Hughes, T. J. R. and Mazzei, L. and Jansen, K. E., Large-eddy simulation and the variational multiscale method, *Comput. Visual. Sci.* 3, 2000.

### FORMATION PERMANENTE AU CNRS

*par Violaine Louvet*

Dans le cadre de la formation permanente du CNRS, deux formations en lien avec le développement de codes de calcul seront organisées cet automne :

ECOLE D’AUTOMNE INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE *1er module du 29/09 au 03/10, 2ème module du 01/12 au 05/12/2008, à Sète*

<http://calcul.math.cnrs.fr/spip.php?rubrique39>

FORMATION POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA VALORISATION DES LOGICIELS EN ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE (ENVOL) *Du 19 au 24 octobre à Annecy*

<http://www.projet-plume.org/ecole-envol2008>

### CARNET NOIR

## Loïc FOREST

Loïc FOREST

Nous avons appris avec tristesse le décès accidentel le 22 Février 2008 au Grand Som (Chartreuse) de Loïc Forest (Maître de Conférences au Laboratoire de Mathématiques de l’INSA Rouen)

Loïc était un savant, un jeune savant. Toujours à l’affût, il avait rassemblé tous les outils nécessaires à sa thématique d’élection, la modélisation de la morphogenèse et, après les problèmes majeurs qu’il avait résolus (croissance des arbres, embryogenèse de la gastrulation, croissance des phanères), ses futurs domaines d’application étaient innombrables, depuis le développement normal des animaux et des plantes, jusqu’à la dysgenèse du vieillissement, en passant par la dynamique des épidémies.

Sa famille, ses nombreux amis ne savent pas en détail ses nombreuses contributions à la Science (dix articles publiés en cinq ans, qui resteront longtemps utilisés par les nouvelles générations), à laquelle il avait choisi de consacrer sa vie professionnelle. Après un travail remarqué sur la croissance pathologique des arbres dans la forêt chilienne, il a ainsi modélisé avec succès la naissance,

## VIE DE LA COMMUNAUTÉ

dans l’embryon, du tube digestif (phénomène appelé gastrulation) et la formation des phanères (poils chez l’homme, plumes chez le poulet et écailles chez le poisson). L’une de ses pairs, D. Hilhorst, membre du laboratoire franco-japonais ReaDi-Lab auquel il appartenait, a dit de lui : “ We have lost a member who was making incredibly good mathematical modeling ”. Loïc avait également entrepris récemment l’étude de la propagation des épidémies, pour expliquer des épidémies passées (la Peste Noire de 1347, observée et soignée par les Antonins du Dauphiné) et actuelles (dont la montée, consécutive aux changements climatiques, des pathologies africaines en Europe, comme la fièvre de la Vallée du Rift dont mourut Alexandre le Grand). Loïc, après avoir été un thésard exemplaire (sous la direction de J. Demongeot à Grenoble), était déjà un directeur aimé de ses jeunes élèves de master. Il était l’enseignant idéal, grand frère écoutant et écouté, propre à éveiller les vocations scientifiques dont nous manquons tant aujourd’hui.

Egalement intéressé par les liens industriels, Loïc s’était impliqué en novembre dernier avec A. Draux, C. Gout, D. Bonner et M. Helbling dans l’organisation d’une journée Dassault Systèmes à l’INSA de Rouen. Loïc développait également des relations scientifiques étroites au niveau international avec l’Université du Chili et l’Université de Conception au Chili (collaborations avec Jaime San Martín, Fernando Padilla, Nancy Hitschfeld, Juan Asenjo et Julio Aracena).



A l’INSA Rouen, dès son arrivée, Loïc avait montré une extraordinaire capacité d’écoute à la fois dans son enseignement et sa recherche. Il était foncièrement généreux avec une grande conscience sociale. Enfin il était ravi d’impulser de nouvelles idées et de participer à des projets avec ses nouveaux collègues, dans la bonne humeur, sans jamais se prendre au sérieux !

*par Jacques Demongeot (IMAG, Grenoble), Christian Gout, Witold Respondek et tous les collègues GM/LMI de l’INSA de Rouen*

*Sources : Discours en l’église de Pélussin (Ardèche) aux funérailles de Loïc Forest (reconstitué de mémoire et complété par Jacques Demongeot) - ENSIMAG Magazine AAE (Avril 2008).*

# Printemps des Mathématiques Yellow Sale 2008 Du 1er mars au 31 juillet 2008



## Parmi les titres soldés :

### Points fixes, zéros et la méthode de Newton

J.-P. Dedieu

2006. XII, 198 p. 7 ill. (Collection Mathématiques et Applications Vol. 54). Broché

ISBN 978-3-540-30995-6 ► ~~€36~~

Prix Yellow Sale ► € 21,05



### Stochastic Integration and Differential Equations

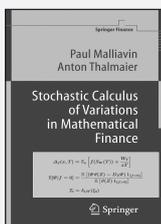
P.E. Protter

2nd ed. 2003. Corr. 3rd printing 2005. XIII, 419 p. (Series Stochastic Modelling and Applied Probability, Vol. 21). Hardcover

ISBN 978-3-540-00313-7 ► ~~€73,80~~

Prix Yellow Sale ► € 42,15

Plus de 300 titres en  
mathématiques à des  
tarifs exceptionnels !



### Stochastic Calculus of Variations in Mathematical Finance

P. Malliavin, A. Thalmaier

2006. XII, 142 p. (Series Springer Finance) Hardcover

ISBN 978-3-540-43431-3 ► ~~€47,42~~

Prix Yellow Sale ► € 26,32

Retrouvez plus d'informations sur la campagne, le catalogue complet  
et la liste des libraires participants sur :

[springer.com/booksales](http://springer.com/booksales)

Pour commander, contactez votre libraire ou à défaut ► par courrier : Springer Distribution Center • Haberstr. 7 • 69126 Heidelberg, Allemagne ► Tél. : 00800 777 46 437 n° vert gratuit ► Fax: +49 (0) 6221 - 345 - 4229 ► Email: [SDC-bookorder@springer.com](mailto:SDC-bookorder@springer.com) •

Prix TTC en France. Pour les autres pays, la TVA locale est applicable.

Les prix indiqués et autres détails sont susceptibles d'être modifiés sans avis préalable.

013587x

## Mathématiques Financières et Industrie Bancaire

### le point actuel ; quelques perspectives.

Par

**Marc YOR<sup>(a)</sup>, Jean-Pierre KAHANE<sup>(b)</sup>, Stéphane JAFFARD<sup>(c)</sup>, Denis TALAY<sup>(d)</sup>**

<sup>(a)</sup> Membre de l'Académie des Sciences, Professeur à l'Université P. et M. Curie

<sup>(b)</sup> Membre de l'Académie des Sciences, Professeur émérite à l'Université Paris-Sud Orsay

<sup>(c)</sup> Président de la SMF, Professeur à l'Université de Créteil

<sup>(d)</sup> Président de la SMAI, Directeur de Recherche à l'INRIA

Le mardi 1er Avril 2008, de 16h à 19h, a eu lieu, dans la salle des 5 Académies, une Table Ronde, suivie d'un débat dont le sujet était le titre même du présent article. Celui-ci est un compte-rendu, aussi fidèle que possible, de cette rencontre, dont l'objectif principal était de faire un état des lieux, concernant le flux des étudiants en MF<sup>1</sup>, au niveau Mastère 2, lesquels deviennent analystes financiers dans une banque (= “quants” dans le jargon professionnel) à l'issue de leur formation. Plus généralement, il s'agissait de décrire les interactions entre départements universitaires de probabilités - statistiques d'une part, et banques d'autre part.

De façon à pouvoir comparer la situation en France avec celles d'autres pays européens, les Professeurs :

- Peter BANK [Technische Universität - Berlin] pour l'Allemagne,
- Mark DAVIS [Imperial College - Londres] pour la Grande-Bretagne,
- Paul EMBRECHTS [ETH-Zürich] pour la Suisse,

étaient les invités étrangers de cette Table Ronde, alors que les Professeurs :

- Nicole EL KAROUI [Ecole Polytechnique],
- Damien LAMBERTON [Université de Marne-la-Vallée]

détaillaient la situation en France.

• Rappelons dès maintenant qu'une présentation à l'Académie des Sciences des principaux aspects des MF avait déjà été faite le 1er Février 2005, avec d'ailleurs certains orateurs communs à ces deux séances. La présentation de 2005 était,

<sup>1</sup>Pour éviter les répétitions, nous écrivons seulement MF pour Mathématiques Financières. De même, nous écrivons JPK, SJ, DT, MY au lieu de nos noms respectifs.

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

---

pour l'essentiel, d'ordre purement scientifique, son but étant l'explication par les principaux chercheurs académiques européens des concepts et des techniques mathématiques en plein essor dans le domaine. Cette même présentation de 2005 a donné lieu à la publication d'un volume des éditions Lavoisier : "Aspects des MF" récemment traduit entièrement en anglais, et publié par Springer.

Ce 1er Avril 2008, il ne s'agissait évidemment pas de faire une présentation scientifique bis, mais plutôt de dégager une vue d'ensemble sur les impacts de l'impressionnant développement des emplois de "quants" dans l'industrie bancaire, en relation avec le flux total des étudiants engagés, dans les années récentes, dans un cursus type Mastère 2 - Recherche en Mathématique.

• Voici maintenant comment s'est déroulée la Table Ronde du 1er Avril 2008 : JPK puis Jean DER COURT, Secrétaire perpétuel de la 1ère division de l'Académie des Sciences, puis DT et enfin SJ expliquent brièvement les raisons de la tenue de cette Table Ronde :

- **JPK** rappelle l'initiative de 2005, et situe la Table Ronde dans l'actualité, à savoir l'inquiétude générale ressentie ces derniers temps à l'égard du système bancaire (subprimes, affaire Kerviel de la Société Générale). Sans être mis en accusation, les mathématiciens se trouvent désormais, au même titre que les physiciens ou les biologistes, en face d'un questionnement public sur l'orientation et l'utilisation de leurs travaux.

Les MF intéressent légitimement les sociétés de mathématiciens, la SMF et la SMAI, dont les présidents vont assurer le bon déroulement de la Table Ronde. Les MF ont le vent en poupe, en France et en Europe, comme le montreront les exposés. Elles attirent des étudiants, des chaires et des prix créés par les banques, elles se nourrissent des problèmes rencontrés par le système bancaire. Les débats vont alimenter une réflexion d'ensemble sur les progrès à réaliser, les dangers à éviter, et les inflexions souhaitables, et MY aura la tâche redoutable d'une première mise en forme.

- **Jean DER COURT** accueille les participants de la Table Ronde, et se réjouit de ce que la SMAI, la SMF et l'Académie des Sciences oeuvrent en commun sur le thème de cette journée.

- **DT** rappelle que les mathématiques s'enrichissent de leurs interactions avec d'autres domaines scientifiques ou technologiques. Il explique pourquoi, parmi les applications spectaculaires des probabilités, les mathématiques financières ont un statut particulier. Ainsi, si la finance quantitative est un champ transverse à des pans entiers de l'analyse et suscite de manière féconde des problèmes mathématiques, numériques et informatiques, les modèles contribuent largement à la création de valeurs virtuelles pour lesquelles le facteur humain joue un rôle

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

aussi important que les facteurs objectifs et mesurables. Par ailleurs, l'industrie financière est un extraordinaire vivier d'emplois mais compromet l'attrait des doctorants pour les carrières académiques. En conclusion de son exposé, DT souligne que la finance moderne devrait utiliser plus de mathématiques à bon escient pour rationaliser les marchés et contrôler les risques.

- **SJ** prononce encore quelques mots d'introduction à la Table Ronde, et intervient plus tard à nouveau pour lancer le débat public.

Après cette ouverture, ce sont cinq exposés qui constituent véritablement cette Table Ronde<sup>2</sup>.

- **D. LAMBERTON** brosse un tableau quasi-complet des formations M2 en MF à forte composante mathématique, et met en évidence l'importance des masters de Paris VI - Ecole Polytechnique, ainsi que Paris VII, axés sur la modélisation aléatoire et le calcul stochastique appliqués aux MF, les formations de Paris I (liens avec économie mathématique), Marne-la-Vallée en partenariat avec l'Ecole des Ponts ( : méthodes numériques), Besançon ( : l'Université où enseignait Louis BACHELIER). En fait, sur tout le territoire français, la plupart des Masters de probabilités contiennent au moins un cours présentant les applications du calcul stochastique.

- Ce sont ensuite les trois invités étrangers (**Peter BANK, Mark DAVIS et Paul EMBRECHTS**) qui présentent les spécificités des interactions entre MF et industrie bancaire dans leurs pays respectifs : de façon générale, ils mettent en évidence une longue tradition de relations entre mathématiciens et compagnies d'assurance, les liens entre MF et industrie bancaire se développant à partir du début ou du milieu des années 90. En Allemagne, 1 étudiant en mathématiques sur 2 se dirige vers l'industrie bancaire ; en Angleterre, de plus en plus de PhD en physique, mathématique, engineering sont employés dans l'industrie bancaire, et de nombreux étudiants de 1er cycle s'y dirigent. P. EMBRECHTS, pour la Suisse, souligne l'importance des accords de Bâle (1988 : Bâle I, 1996 : Bâle I1/2, 2006 : Bâle II) et de l'évolution de la prise en compte du Risque Quantitatif ( : Quantitative Risk Management). En Suisse également, ce sont entre un tiers et la moitié des étudiants en mathématique qui se dirigent vers l'industrie financière au sens large (celle-ci incluant le domaine des assurances). Bien sûr, l'importance de l'industrie financière en Suisse joue un rôle spécifique.

Les relations institutionnelles entre le monde académique et l'industrie bancaire varient d'un pays à l'autre : ainsi, à Berlin, le Quantitative Products Laboratory dont P. BANK est le directeur scientifique est une entreprise commune à Deutsche Bank, Humboldt Universität, et Technische Universität. En Angleterre,

<sup>2</sup>Ces exposés peuvent être consultés sur le site de l'Académie des Sciences : <http://www.academie-sciences.fr/conferences/seances-publiques/pdf/Seance.01.04.08.programme.pdf>

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

les collaborations institutionnelles sont l'exception. En Suisse, différentes collaborations coexistent : de banque à professeur individuel, de banque(s) au système académique dans son ensemble, de banque(s) à étudiants, de banques à universités. En France, avec la création des Pôles de compétitivité, 15 chaires de 300k€ sont proposées par la Fondation de Recherche.

- **N. El KAROUI**, après avoir rappelé le démarrage du DEA "Probabilités et Finance", au début des années 90, cohabilité par Paris VI et l'Ecole Polytechnique, insiste sur la part importante tenue par la gestion des risques dans le métier de quant, faisant ainsi écho à la discussion de P. EMBRECHTS. Ainsi, au fil des années et des recherches, la compréhension des risques de marchés est bien meilleure, mais le "système" s'emballe : la crise General Motors en 2005 est suivie d'une bulle de 2 années liée au marché de l'immobilier. Concernant la "validité" des modèles mathématiques utilisés, N. El KAROUI souligne que celle-ci nécessite certaines conditions, et qu'un modèle "raisonnable" au niveau de 100k€ ne l'est vraisemblablement plus si les tailles négociées sont beaucoup plus grandes. Enfin, selon N. El KAROUI, l'exploration des méthodes mathématiques en Finance devrait également amener à rechercher des interactions entre Mathématiques et autres disciplines.

- A la suite des exposés des intervenants de la Table Ronde, le débat public est introduit par **SJ** qui résume les interrogations qui s'élèvent au sein de la communauté mathématique à propos des MF ; ces préoccupations peuvent être rassemblées suivant 4 grands thèmes :

- Comment remédier au déséquilibre croissant de nombreux M2 qui ne survivent que grâce à des filières de MF ? Celles-ci attirent la plupart des étudiants, et très peu de ceux-ci poursuivent par une thèse.
- L'attrait des MF au sein des mathématiques risque-t-il d'appauvrir la recherche dans les domaines proches ?
- La grande médiatisation actuelle des MF n'en donne-t-elle pas une image faussée ?
- Les recherches en MF ont-elles une utilité sociale, directe ou indirecte ?

### **Nous résumons maintenant succinctement la teneur du débat :**

- Comme cela est apparu lors des exposés de la Table Ronde, Allemagne, Grande-Bretagne et Suisse ont une longue tradition de collaborations entre milieu académique et institutions bancaires ou compagnies d'assurances. Dans ces pays, recherche et formations académiques bénéficient largement de soutiens financiers venant de l'industrie bancaire. En France, ces interactions en sont à un stade bien moins avancé. Comment vont-elles se développer ?

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

---

- Les carrières dans les banques attirent les étudiants parce qu’elles offrent des emplois à haute technicité mathématique, à forts revenus, et qui sont excitants car situés au cœur du monde économique. Il est alors mentionné que le “cœur du monde” peut être recherché dans d’autres applications des Mathématiques, par exemple en neurosciences, épidémiologie, environnement...
- Pour les mêmes raisons, ces carrières attirent aussi les étudiants des pays en voie de développement, mais également parce que ceux-ci prévoient l’essor prochain de l’industrie bancaire dans leur pays.
- Dans les prochaines années, les besoins de recrutement dans cette industrie seront fluctuants, mais resteront importants.
- Pour autant, les formations et recherches en MF ne doivent pas menacer de sains équilibres, et il faudra veiller à continuer de faire vivre d’autres sujets essentiels aux sciences et à la société.
- Enfin, c’est à MY que revient la tâche (malaisée) de conclure cette séance.

- Les limites des modèles (ou des outils) mathématiques dont il a été question à la fin de la Table Ronde illustrent particulièrement bien la maxime de A. GREENSPAN : “We need more humility”, reprise par H. FÖLLMER dans son article à “Aspects of MF”.
- Durant les vingt dernières années, l’industrie bancaire s’est dotée - et a été largement aidée en cela par la communauté probabiliste - d’une réelle culture de l’aléatoire, offrant ainsi des emplois très attractifs à de nombreux jeunes probabilistes.
- Il serait souhaitable de prendre appui sur cette excellente situation (dans le milieu probabiliste tout au moins) pour dégager des possibilités équivalentes dans d’autres domaines scientifiques, techniques, ou industriels.
- L’idée est alors lancée de fonder un Observatoire des Applications des Mathématiques, lequel serait soutenu par l’Académie des Sciences, la SMAI et la SMF. Le rôle et la composition de cet Observatoire restent à définir ; cela pourrait faire l’objet d’un rapport de l’Académie des Sciences sur les mathématiques dans le monde de l’industrie, qui serait le pendant<sup>3</sup> du rapport : Les Mathématiques dans le monde scientifique contemporain, RST n°20, Novembre 2005, coordonné par Jean-Christophe YOCCOZ.

---

<sup>3</sup>En plusieurs passages dans ce rapport, il est souhaité que les applications des mathématiques fassent l’objet d’un second rapport, qui compléterait ce RST n°20

### Intervention de Denis Talay

Les mathématiques ont constamment été enrichies, motivées, diversifiées, par de multiples dynamiques internes conduisant à créer de nouveaux outils et à étudier de nouveaux objets abstraits.

Les mathématiques ont aussi été enrichies, motivées, diversifiées, par de multiples autres domaines scientifiques ou technologiques : la physique, bien sûr, mais aussi, plus récemment, l’informatique et la biologie, ainsi que diverses industries pour lesquelles le savoir-faire technique doit être complété par des modélisations sophistiquées ou des simulations numériques complexes.

La théorie des probabilités illustre particulièrement bien la dualité de la dynamique mathématique. En effet, elle est née de phénomènes physiques particuliers (les jeux de hasard), a été fondée par les travaux axiomatiques de Kolmogorov, s’est complètement renouvelée en développant le calcul différentiel stochastique sous des impulsions diverses dont le traitement du signal et la physique théorique, s’est nourrie d’interactions naturelles et fécondes avec la théorie du potentiel, l’analyse harmonique, l’analyse des équations aux dérivées partielles, la géométrie, etc., autant que de ses succès en modélisation de phénomènes turbulents, de systèmes complexes soumis à des excitations désordonnées, d’incertitudes sur des conditions d’expériences, etc. De plus, les succès en algorithmique, traitement du signal et traitement d’images, analyse numérique, illustrent que les probabilités s’utilisent aussi pour traiter des problèmes qui s’expriment naturellement de manière déterministe et qui, néanmoins, s’attaquent efficacement grâce à des interprétations probabilistes artificielles.

Parmi les applications spectaculaires des probabilités, les mathématiques financières ont un statut particulier à plusieurs égards. Tout d’abord, il est remarquable que beaucoup de notions familières aux praticiens des salles de marché aient *d’abord* été élaborées pour répondre à des besoins théoriques : ainsi, les processus adaptés sont parfaits pour représenter des prix en l’absence de délits d’initiés ; les théorèmes de représentation de martingales fournissent des stratégies de couverture d’options ; le théorème de Girsanov est un outil-clef pour définir l’absence d’opportunité d’arbitrage, etc. Par ailleurs, il est évident que les applications financières ont largement contribué :

- au développement d’outils récents de l’analyse stochastique comme, par exemple, les équations différentielles stochastiques rétrogrades ;
- au renouvellement d’outils plus anciens passés un peu de mode comme le contrôle stochastique ;
- à l’émergence de questions originales en statistique des processus et en calibration de modèles stochastiques, en probabilités numériques, en optimisation, en

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

- calculs explicites sur les lois de fonctionnelles de processus stochastiques ;
- à l’introduction de concepts nouveaux, comme les mesures de risques, dont l’étude fait appel à l’analyse fonctionnelle ;
- à l’interaction de disciplines très différentes comme la météorologie et l’économie pour traiter des risques climatiques ;
- à l’essor de techniques d’analyse et de méthodes numériques qui s’appuient à la fois sur les équations aux dérivées partielles et les processus stochastiques.

Ainsi la finance quantitative est un champ transverse à des pans entiers de l’analyse. Par ailleurs, elle suscite de manière féconde des questions numériques non classiques ainsi que des questions d’ordre informatique puisque les codes de calcul doivent tantôt fournir des réponses précises en quelques secondes (cas des calculs de prix d’actifs dérivés pour les traders), tantôt traiter des problèmes en très grande dimension (cas des calculs de risques pour le back-office). Il est donc naturel que la communauté des mathématiques appliquées et l’industrie financière se soient rapprochées depuis que les praticiens se sont accordés à fonder leur travail sur les modèles stochastiques et la formalisation mathématique des notions d’arbitrage, de liquidité, de risque, etc. La création récente du Grand Prix Natixis-SMAI décerné par l’Académie des Sciences est une vitrine de ce rapprochement. Pour mémoire, ce prix est destiné à récompenser des travaux en finance qualitative, et son premier lauréat, Huyên Pham, est mathématicien.

- Cela étant, la finance moderne n’est pas tout-à-fait un domaine comme les autres :
- les modèles mathématiques servent habituellement à tenter d’expliquer, ou tout au moins de décrire, le monde réel ; en finance, ils contribuent largement à la création de valeurs virtuelles : en quelque sorte, les mathématiques en salle de marché contribuent à élaborer le monde qu’il s’agit d’étudier ;
  - la modélisation mathématique concerne des phénomènes où le facteur humain joue un rôle aussi important que les facteurs objectifs et mesurables : toute modélisation est donc par nature imparfaite, si bien que les mathématiques doivent servir à étudier les conséquences des erreurs de modélisation autant qu’à modéliser ;
  - depuis près de vingt ans l’industrie financière est un extraordinaire vivier d’emplois de niveau mastere ou doctorat en mathématiques appliquées et à fortes rémunérations ; ce succès est d’autant plus grand pour les filières françaises que les étudiants diplômés sont très recherchés à l’étranger ; le revers de la médaille est la fuite d’étudiants brillants vers ces carrières attractives plutôt que vers des carrières de chercheur ou d’enseignant-chercheur à faible rémunération, à contraintes croissantes au moment du recrutement (post-docs souhaitables) et dans l’exercice des fonctions (effets du pilotage de la recherche par d’innombrables guichets) ; en devenant quants, bien des étudiants ont le sentiment de

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

---

réussir à faire de la recherche, sans doute plus appliquée que dans un laboratoire, mais mieux considérée et bien mieux rémunérée ; dans une certaine mesure, l’industrie financière contribue ainsi à remplir les mastères et à vider les doctorats ;

- les relations entre les institutions financières et le monde académique ont longtemps été mal équilibrées puisque, entre autres pour des raisons de confidentialité, les collaborations étaient largement fondées sur des contrats individuels de consultance ; ce mode de fonctionnement a tendance à évoluer grâce à la création de chaires et à l’augmentation des contrats de recherche passés avec des laboratoires, ce qui permet à ces derniers de bénéficier d’une sorte de retour sur investissement pour avoir si bien formé les ingénieurs financiers dont les salles de marché ont besoin, et pour savoir organiser tant de séminaires, colloques, cours, auxquels ces ingénieurs ont accès gratuitement ;
- enfin, les enjeux de la finance et les sommes astronomiques échangées en salle de marché rendent les médias et l’opinion publique friands de tout événement sortant de l’ordinaire ; à certaines occasions, dont la récente affaire Société Générale est un exemple prototypique, les rumeurs les plus absurdes circulent sur le rôle catastrophique des modèles mathématiques même quand, à l’évidence, les faits relèvent de falsifications informatiques, de délits d’initiés, ou d’erreurs plus ou moins involontaires de gestion ; néanmoins, on ne peut nier que les mathématiques financières ont servi de caution, auprès des autorités politiques et bancaires, au développement des crédits à risques et des produits financiers correspondants – mais les mathématiques ne sont tout de même pas la cause de la crise des subprimes : il faudrait surtout parler des politiques commerciales agressives et dangereuses pour développer, au-delà de toute mesure, d’une part les endettements des consommateurs et des entreprises, d’autre part le marché des produits financiers adossés au risque de crédit ; il faudrait aussi parler des raisons pour lesquelles le risque de crédit a été autant sous-évalué par les institutions financières et les pouvoirs politiques.

Faut-il s’inquiéter de la fuite de cerveaux et des divagations de certains journalistes ? Les débats de ce soir nous apporteront quelques éclaircissements. Mon avis (momentanément ce n’est plus le président de la SMAI qui s’exprime) est que la fuite des cerveaux vers les banques relève de la politique générale de la recherche française et de l’image de marque que nous, scientifiques, donnons de notre métier et de la science ; quant aux médias, il nous faut tenter de faire passer le message que la finance moderne, loin de comporter trop de mathématiques, n’en utilise pas assez à bon escient, c’est-à-dire pour rationaliser les marchés, contrôler les risques, détecter les délits, et éviter que la Bourse ne dénature ses fonctions d’assurance et de levier économique en se transformant épisodiquement

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

en casino.

### Intervention de Stéphane Jaffard

Les mathématiques financières sont aujourd’hui au cœur d’un paradoxe : d’un côté elles sont reconnues comme l’un des fleurons actuels de la science en France, et le développement rapide et remarquable de cette discipline est cité couramment en exemple par les instances scientifiques. Cependant, la crainte est apparue que ce succès ne soit générateur de déséquilibres, voire de dysfonctionnements au sein de notre discipline. De telles interrogations sont apparues même parmi les spécialistes du domaine ; ainsi, Marc Yor a suggéré d’organiser, avec la SMF et la SMAI cette table ronde, afin que nous examinions ensemble ces problèmes. Je vais présenter mon intervention en relayant un certain nombre de questions, que l’on entend souvent au sein de la communauté mathématique lorsque le sujet, très médiatique, des mathématiques financières est abordé. Elle permettra ainsi d’ouvrir le débat.

En ce qui concerne l’enseignement, le succès des mathématiques financières est-il, un atout, en attirant des étudiants vers les mathématiques (dans les grandes écoles par exemple) et aussi en permettant de faire vivre des M2 de mathématiques plus généralistes grâce à la présence d’une filière finance ? sont-elles au contraire une menace, en tarissant à leur seul profit les autres filières de mathématiques ?

Les M2 de mathématiques financières dénaturent-ils la vocation des M2 recherche ? en effet la motivation des étudiants n’est en général pas de poursuivre par un doctorat, mais d’être recrutés par une banque à la sortie du M2.

Pourquoi le titulaire d’un doctorat en mathématiques financières essaierait-il d’obtenir un poste de maître de conférence ou de chargé de recherche, souvent obtenu seulement après plusieurs années d’ATER et de post-doc, alors que des banques lui offrent aussitôt un salaire sans commune mesure ? Est-il raisonnable que les universités ouvrent des postes fléchés dans ce domaine (par ailleurs justifiés, ne serait-ce que par la demande en enseignements) alors que le vivier est a priori appauvri par cette concurrence des banques ?

Au sein de la communauté des chercheurs et enseignants chercheurs, il existe un attrait puissant à travailler en mathématiques financières, attrait largement dû aux capacités des banques à rémunérer les recherches dans ce domaine de façon bien supérieure à la plupart des industriels “classiques”. Ce phénomène risque-t-il de créer un déséquilibre parmi les thématiques traitées au sein de notre communauté ? Courons-nous le risque d’un appauvrissement de certains domaines des mathématiques, notamment les plus proches des mathématiques financières, comme les probabilités appliquées, où les chercheurs peuvent rapidement se re-

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

---

convertir en mathématiciens financiers ? Ce phénomène ne risque-t-il pas d’être accru du fait de l’autonomie des universités, celles-ci étant tentées de redéployer les postes de mathématiques en priorité vers un domaine si médiatique, et le Ministère de l’Enseignement Supérieur et de la Recherche ne pouvant plus jouer le rôle de régulateur national qui a été le sien jusqu’à l’an dernier ?

Risque-t-on de voir apparaître une nouvelle catégorie de “financiers mathématiciens”, qui se déconnecte de la communauté mathématique, et dont le type de travail et le mode de fonctionnement s’éloignent des standards de notre communauté ?

La couverture médiatique des mathématiques financières, avec les raccourcis et les à-peu-près qui l’accompagnent inévitablement, risque-t-elle d’être nuisible à l’image de marque des mathématiques ? Vaut-il mieux pour notre discipline que l’on parle d’elle dans les médias, même de façon inexacte, ou qu’on l’ignore ?

Les conséquences d’une crise financière risqueraient-elles d’être imputées aux mathématiques financières ? Les outils développés peuvent-ils influencer sur la formation d’une telle crise ? Si oui, comprend-on aujourd’hui selon quels mécanismes, et avec quels effets probables ? La sophistication de plus en plus accrue de ces outils risque-t-elle de les rendre difficiles à maîtriser, alors même que l’utilisateur peut avoir l’impression que cette sophistication est une garantie absolue de validité en toutes circonstances ? L’information concernant le domaine de validité des modèles et les hypothèses utilisées passe-t-elle convenablement entre les mathématiciens et les utilisateurs ?

Au-delà de l’intérêt qu’ils présentent pour les banques, les travaux de mathématiques financières ont-ils une utilité pour la société, de façon directe ou indirecte ?

### Intervention de Jean-Pierre Kahane

Voici

- 1) un extrait de mon allocution d’ouverture le 1er avril,
- 2) des observations faites après le 1er avril,
- 3) un petit complément au 15 mai.

1) Il ne sera pas question dans cette Table ronde des fondements théoriques des mathématiques financières. En effet, cela a déjà fait la matière d’un colloque en 2005, qui a abouti à un livre “ Aspects des mathématiques financières ” qui existe en français et en anglais, et ce livre fait bien le point.

Ce qui a motivé la rencontre d’aujourd’hui, c’est l’inquiétude générale ressentie ces derniers temps à l’égard du système bancaire, et sa cristallisation en France avec l’affaire Kerviel de la Société Générale. Le public a découvert l’existence des analystes financiers et des traders, et d’une toile de fond mystérieuse, les mathématiques financières. Jusqu’il y a quelques jours les mathématiciens n’étaient pas explicitement associés aux dérives du système bancaire, mais ils se trouvent désormais, au même titre que les physiciens ou les biologistes, en face d’un questionnement public sur l’orientation et l’utilisation de leurs travaux.

L’Académie des sciences, à propos d’un tout autre sujet, le bioterrorisme, a été saisie de questions d’éthique professionnelle qui se posent aux biologistes. Depuis 1992, la Société mathématique européenne a mis à l’ordre du jour de ses congrès les relations entre mathématiques et société. Cette Table ronde touche à un point sensible de ces relations.

Les présidents de la SMF et de la SMAI vous diront l’importance pour tous les mathématiciens du dynamisme des mathématiques financières, et les questions qui se posent pour que ce dynamisme ait un effet positif sur l’ensemble des recherches et des enseignements de mathématiques

Les premières communications vous donneront un état des lieux, en France et en Europe. Nous savons, et nous verrons mieux après ces exposés, que les mathématiques financières ont le vent en poupe, qu’elles attirent les meilleurs étudiants, qu’elles amènent les banques à créer dans leurs domaines des chaires universitaires et des prix, et qu’elles ont des perspectives brillantes même si, et peut-être surtout si le système bancaire rencontre des problèmes. Les débats permettront d’élargir ces perspectives, de faire intervenir d’autres facteurs et d’autres points de vue, et de donner un aliment à une réflexion d’ensemble de la communauté mathématique sur les progrès à réaliser, les dangers à éviter, et les inflexions souhaitables. Marc Yor, qui a été l’initiateur de cette rencontre, aura alors la tâche redoutable de dégager les conclusions.

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

2) Nous avons eu un bon état des lieux. Qu'en tirer comme leçons et comme perspectives ?

1. Les banques font une entrée dans le système universitaire, en Europe et en France. Il s'agit des chaires de mathématiques financières financées par des banques. Nos collègues de Suisse, d'Allemagne et d'Angleterre en bénéficient. C'est le cas aussi en France avec les chaires de recherche du " pôle de compétitivité d'innovation financière " créées par un mécénat privé.

J'y vois, en France, un danger certain. Non qu'il faille récuser le mécénat. Mais que dirait-on si la chaire d'innovation technologique Liliane Bettencourt du Collège de France était remplacée par une chaire l'Oréal d'amélioration des produits de beauté ? Or ce me paraît être l'orientation, nouvelle en France, de chaires spécialisées payées par les utilisateurs. La liaison entre banques et enseignements de mathématiques financières mériterait d'être repensée. Les banques tirent parti de tout l'effort de recherche en mathématiques et ailleurs. Elles seraient fondées à manifester leur intérêt et leur reconnaissance en se comportant en mécènes de l'activité scientifique plutôt qu'en pilotes.

2. Implicitement, ce que je viens de dire s'applique aux prix décernés par l'Académie des sciences. Une vigilance s'impose pour que les prix valorisent l'activité scientifique de haut niveau dans tous les domaines, et non dans des domaines trop spécialisés intéressant les bailleurs de fonds.

3. De très bons étudiants se précipitent vers les mathématiques financières. Si j'ai bien noté, Nicole El Karoui a parlé de 85% des élèves étrangers de l'École Polytechnique. Gilles Pagès a estimé que ce n'est pas d'abord par appât du gain, mais parce que la finance leur apparaît comme le cœur du monde. Que deviennent ces étudiants ? Analystes financiers pendant quelques années, et ensuite ?

Qu'apportent-ils à la banque, à la science, à la société ?

Les soubresauts du système bancaire doivent faire réfléchir. Ils sont d'ailleurs à l'origine de l'organisation de la Table ronde. Le cœur du monde peut se trouver ailleurs.

4. Le monde évolue, nous ne savons pas bien comment ni où. Chacun a son opinion là-dessus.

Mais peut-être pouvons-nous, comme scientifiques et comme mathématiciens, dire notre sentiment d'être d'une certaine façon au cœur des choses. Au travers des vicissitudes et des dangers l'humanité a su se développer grâce à ses atouts propres : la curiosité qui mène à comprendre, l'inventivité qui fait construire, et la transmission des connaissances qui permet le progrès. Quelle que soit l'évolution à venir de l'humanité, elle aura besoin de mobiliser ces atouts ; la recherche scientifique peut apporter à l'humanité bien plus qu'elle n'apporte aujourd'hui. La canaliser risque de la tarir, à moins qu'il ne s'agisse de mille canaux.

## MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES et INDUSTRIE BANCAIRE

5. Justement, les mathématiques sont susceptibles d’une immense variété d’applications, scientifiques, techniques et industrielles. Seulement une partie de ces possibilités est exploitée aujourd’hui. Les mathématiques financières témoignent de l’efficacité du calcul différentiel stochastique très loin du champ qui lui avait donné naissance. Les sociétés savantes et l’Académie pourraient essayer d’explorer, à partir de la situation actuelle, quelles sont les directions et les objectifs, proches et lointains, pour mettre les mathématiques et les mathématiciens en contact plus étroit avec le monde qui nous entoure. Ce n’est pas en élargissant le champ de leurs applications qu’on risque d’altérer les mathématiques ; c’est au contraire en le restreignant.

3) L’importance sociale du système bancaire est immense. Les banques brassent autant ou plus d’argent que les Etats. En démocratie, les citoyens ont en principe, par leurs représentants, voix au chapitre pour le budget de l’Etat. Mais en face des banques ils perdent leur caractère de citoyens, ils sont des clients. La gestion de l’argent leur échappe complètement.

Question. Les mathématiciens ont-ils un rôle à jouer pour expliquer les règles du jeu telles qu’ils les voient, telles qu’ils les recommandent, et telles qu’elles sont transgressées ? Autrement dit, en plus de leur rôle de conseil pour le fonctionnement du système bancaire, ont-ils une mission de service public dans ce domaine, pour exposer comment les banques sont amenées à favoriser les entreprises aventureuses dont la stricte application des règles devrait en principe les protéger ?

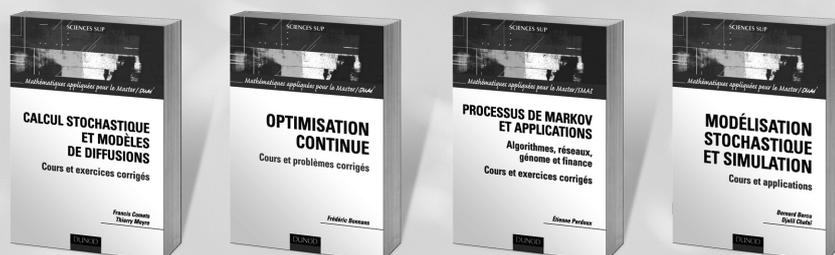
Le prochain numéro de MATAPLI  
contiendra d’autres contributions  
sur les divers sujets de ce dossier.

# Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI

Les ouvrages de la série « Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI » s'adressent aux étudiants en Master ou en écoles d'ingénieurs. Adaptés aux nouveaux cursus LMD, ils répondent à une double exigence de qualité scientifique et pédagogique. La SMAI assure la direction éditoriale grâce à un comité renouvelé périodiquement, et largement représentatif des différents thèmes des mathématiques appliquées. Son ambition est de constituer un ensemble d'ouvrages d'enseignement de référence.

## Déjà parus :

- **Calcul stochastique et modèles de diffusions**  
*Francis Comets, Thierry Meyre*
- **Optimisation continue**  
*Frédéric Bonnans*
- **Processus de Markov et applications**  
*Étienne Pardoux*
- **Modélisation stochastique et simulation**  
*Bernard Bercu, Djalil Chafai*



## À paraître :

- **Analyse numérique matricielle**  
*Luca Amodè, Jean-Pierre Dedieu*
- **Chaînes de Markov**  
*Carl Graham*



.com

ÉDITEUR DE SAVOIRS

## Socle de la Licence de Mathématiques

"La Smai a participé par sa commission enseignement à un groupe de travail mis en place avec les deux autres sociétés savantes, la SMF et la SFdS, à la suite de la réunion du 22 janvier 2005 à l'IHP : "Licences et masters en mathématiques : pour qui, pour quoi ?". Les trois sociétés savantes se sont mises d'accord fin 2007 sur un texte commun publié ci-dessous. Nous faisons précéder ce "Socle pour la Licence de mathématiques" de la lettre d'accompagnement de Jean-Pierre Borel, qui a animé ce groupe, ces deux textes sont aussi publiés dans la "Gazette des mathématiciens" du mois d'avril.

Le document "Pour un socle de la licence de mathématiques" a vocation à être diffusé largement dans tous les départements de mathématiques des universités."

*Jean-Marc Bonnisseau, Brigitte Lucquin et Edwige Godlewski*

### Pourquoi un socle de la Licence de Mathématiques ?

*par Jean-Pierre BOREL*

Les trois sociétés savantes SMF, SMAI et SFdS, viennent d'adopter le texte intitulé "Pour un socle de la licence de mathématiques". Cette adoption est le résultat d'un long travail. Pour l'avoir suivi, comme responsable de la Commission Enseignement de la SMF, puis comme animateur du groupe qui s'est constitué pour construire ce texte, il me semble pouvoir apporter quelques éléments d'éclairage sur les motifs et la démarche suivie, éléments de nature à mieux comprendre le texte et les enjeux.

Le point déclencheur est indubitablement la mise en place du système LMD, bien connu de tous. Il ne s'agit pas ici de savoir si c'est une réforme positive ou non, si ses objectifs sont atteints, partiellement atteints, voire simplement définis ; mais simplement de rappeler que ce changement a été profond. D'une part, la licence n'est plus le diplôme intermédiaire du second cycle, mais est maintenant le premier niveau de diplôme de l'enseignement supérieur. Il ne s'agit plus d'une année après le DEUG, mais d'un ensemble de 180 crédits ECTS, de 6 semestres, de 3 années, suivant l'unité de compte que chacun préfère. Il a normalement - naturellement ? - sa cohérence d'ensemble. D'autre part, les textes précédents détaillant, au moins partiellement, les "programmes" de licence (et donc, pour notre licence de mathématiques, son contenu mathématique), sont oubliés. Pour reprendre une terminologie utilisée dès le début de la mise en place du LMD, il appartient à chacun de prendre ses responsabilités : les universités pour ce qui est des contenus des diplômes, les étudiants pour ce qui est de leur "parcours", qui se doit quand même d'avoir une cohérence validée.

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

Dans ce contexte, la question de la cohérence s'est rapidement posée : en faut-il une, pourquoi, et qui doit la prendre en charge ? Si l'idée de programmes nationaux exhaustifs n'a jamais été d'actualité et ne le sera probablement jamais - c'est en tout cas mon souhait - le besoin d'une cohérence minimale est largement partagé : nos étudiants sont mobiles, pour certains en cours de licence, pour beaucoup lors de leur passage en master. Ils se retrouvent souvent candidats à un même concours, le CAPES suite à la licence. Notre communauté, chargée de l'enseignement des mathématiques dans les universités, et intéressée au premier chef par cette cohérence, nous a paru, à moi et à d'autres, le bon acteur.

Enfin, et ce n'est pas un point mineur, nous sommes confrontés à une baisse nette du nombre de nos étudiants, de leur motivation et, disent certains, de leur "niveau", notion que personnellement j'ai du mal à cerner de manière rigoureuse. Mais chacun sait bien que les étudiants d'aujourd'hui ont un passé très différent de ceux d'il y a une ou deux dizaines d'années.

La Commission Enseignement de la SMF s'est donc intéressée à la question dès 2004. La première interrogation a été de voir ce qui se passait sur le terrain : la mise en place du LMD conduisait-elle, comme certains pensaient le voir, à une plus grande disparité des formations mathématiques de licence ?

Une enquête a donc été menée auprès de l'ensemble des départements de Mathématiques fin 2004. Un nombre significatif a répondu, et avec une diversité représentative de nos différences : région parisienne et province, universités de tailles variées. Une présentation de ses résultats a été faite lors de la journée de janvier 2005, consacrée au L de Mathématiques. Une seconde enquête, plus précise et portant notamment sur les contenus enseignés en licence, a été menée fin 2005. Les principaux enseignements tirés de ces enquêtes peuvent se résumer ainsi :

- les appellations restent assez homogènes, surtout Licence Sciences-Technologies-Santé, mention Mathématiques ;
- les articulations avec les autres disciplines scientifiques sont peu modifiées, même si certaines différences apparaissent : un ou deux semestres communs avec Physique et Chimie, trois à quatre avec l'informatique (sauf cas particuliers) ;
- des stratégies différentes selon les universités, quant au degré de pluridisciplinarité en début de licence, conduisent à des volumes mathématiques très différents lors du premier semestre (de 36 à 134 heures !) ;
- ces différences semblent s'atténuer ensuite. Mais les statuts "obligatoire", "facultatif", "optionnel", "libre" des unités d'enseignement rendent très difficile le calcul réel du volume mathématique suivi par un étudiant ayant obtenu sa licence, ou même d'une fourchette réaliste ;
- une forte tendance à l'émiettement apparaît. Le volume en ECTS des unités de mathématiques varie dans des proportions considérables, et surtout l'étudiant

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

---

peut rencontrer plus de dix enseignants de mathématiques lors de sa première année (cas hélas non isolé).

Enfin, sur le plan des contenus, de grands chapitres font l’objet d’approches très différentes, soit dans le temps (proposé en semestre 3 ici, en semestre 6 là, ou jamais ailleurs), soit dans leur statut (obligatoire ici, facultatif là, optionnel ailleurs). C’est le cas pour ce qui est de la théorie de la mesure, des probabilités, de la statistique. Mais pas seulement.

Le constat ainsi fait a été jugé déraisonnable, et nous avons engagé une réflexion pour voir comment notre communauté pouvait agir pour que la situation s’améliore. Des travaux ont été menés dans leur domaine par les informaticiens (travail de SPECIF) et les physiciens (travail de la SFP), réalisés d’ailleurs dans des états d’esprit assez différents. Nous avons donc essayé de définir ce que devait savoir impérativement tout étudiant titulaire d’une licence de mathématiques. Une grosse année de travail, essentiellement d’octobre 2006 à décembre 2007, a conduit au texte adopté.

Le débat a été le très ouvert. Le groupe de travail a réuni des enseignants intéressés de diverses universités, il s’est étoffé au cours du temps. Un débat a été organisé en janvier 2007 à Paris, des versions provisoires du texte ont circulé, permettant des réactions nombreuses et pas toujours positives.

Le groupe qui y a travaillé, et je tiens à remercier à nouveau tous ceux qui y ont consacré du temps, souvent avec passion, n’a pas eu la tâche facile. Les avis n’ont pas toujours été convergents, au moins en début de discussion. Les nombreux mails échangés ont même été vifs quelquefois. Mais le fait que chacun ait toujours eu à l’esprit nos étudiants, ce qu’ils sont, ce à quoi nous souhaitons les mener, et également ce que sont les mathématiques, a chaque fois permis de converger. Le socle est donc, bien plus que les idées de ses auteurs, le point d’équilibre auquel nous sommes arrivés après une année de travail.

Je voudrais souligner quelques points importants, ou qui pourraient être mal interprétés.

1 - Il s’agit de préciser une liste de connaissances que tout étudiant ayant obtenu une licence de mathématiques doit connaître, et donc que tout master de mathématiques pourra exiger. Ce n’est pas une liste d’unités d’enseignements, ce n’est pas un programme. Il appartient à chaque enseignant, à chaque équipe pédagogique, de voir comment insérer ces éléments dans une formation bien construite, bien découpée en unités semestrielles, bien mise en perspective. Le socle a pour objectif de donner une liste de concepts à faire acquérir et de techniques à maîtriser en fin de licence. Il ne dit volontairement rien sur les méthodes les plus efficaces pour donner aux étudiants la maîtrise de ces techniques, ni sur les techniques les mieux adaptées pour permettre d’appréhender un concept. De

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

---

même, le socle n'est pas une reprise de l'ancien DEUG. Il insiste sur l'introduction des probabilités et des statistiques dans tous les parcours. Il encourage l'usage de logiciels, la modélisation.

2 - Tout élément de cette liste doit faire l'objet d'une compréhension en profondeur, ce qui me paraît être un progrès : je pense que tout enseignant en licence sait que ce n'est pas le cas aujourd'hui. C'est ici un point fondamental. Il est inutile de traiter énormément de chapitres, pour constater ensuite qu'en fait rien n'est vraiment acquis. Cela donne en plus, à mon avis, une vision complètement fautive des mathématiques et de la démarche mathématique : il ne s'agit pas d'apprendre quelques théorèmes et de savoir les utiliser dans quelques cas types. Les notions de base doivent être comprises en profondeur, avant d'aller plus avant, et surtout pour aller plus avant.

3 - La licence doit comporter une large proportion de connaissances qui ne sont pas dans le socle, d'autres points doivent être traités (le socle représente environ les deux tiers du contenu mathématique de la licence), et pas seulement lors des semestres 5 et 6. La liste complémentaire proposée a uniquement pour but d'éclairer l'esprit dans lequel le groupe a travaillé. Les discussions ont montré qu'il n'y a pas accord général pour considérer que ces notions feraient partie du bagage indispensable de tout étudiant de licence, même si chacun est libre de penser autrement à titre personnel.

4 - Le volume horaire de mathématiques est un point sensible, il a donc été longuement débattu. Il dépend évidemment des contextes locaux, puisqu'il faut bien composer à un moment. Il est hors de question qu'il soit trop bas, la seule indication donnée dans le texte est un minimum. L'idée d'une fourchette a finalement été retirée, car elle s'est avérée peu praticable. Plus que dans les chiffres, l'essentiel réside dans l'équilibre tout au long des six semestres, dans la démarche pédagogique et l'articulation des notions abordées. Le texte rappelle aussi l'importance des autres disciplines scientifiques, des enseignements d'ouverture, capables de développer d'autres compétences - pour reprendre un mot à la mode - que celles développées par nos enseignements de mathématiques.

5 - La démarche et les objectifs sont au moins aussi importants que les contenus des chapitres et les théorèmes. C'est pour cela que la présentation du socle commence par deux pages générales, avant de préciser les notions mathématiques, et que limiter le socle à la lecture de ses pages 3 et 4 lui enlève tout sens.

Comme tout texte, celui sur le socle pourra toujours être critiqué. Il est certainement améliorable à l'infini. Nous espérons simplement avoir pu construire un ensemble équilibré, raisonnable, qui réponde au besoin de cohérence et permette d'envisager la mobilité de nos étudiants, à partir de références partagées.

Car il nous a semblé que, presque plus que le détail de son contenu, l'existence

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

d’un tel texte et la capacité de notre communauté mathématique de se l’approprier, de se regrouper à travers lui, seront particulièrement importantes dans les mois et les années qui viennent : la licence est devenue un grand chantier national, beaucoup avancent des idées sur ce qui doit être fait. Nous devons donc être présents et unis sur ce terrain.

Je tiens, en terminant ce texte, à remercier tous les acteurs de ce dossier, et tout particulièrement les deux “chevilles ouvrières” de ce travail qu’ont été Gilles Christol et Pierre Arnoux.

### Pour un socle de la licence de MATHÉMATIQUES

En collaboration avec : la Société Mathématique de France, la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles et la Société Française de Statistique.

#### Contexte général

Afin d’éviter de trop grands écarts dans les différentes universités, la SMF, la SMAI et la SFdS proposent un cadre général pour la licence de mathématiques. Elles suggèrent une liste de notions que **tout étudiant doit maîtriser** lorsqu’il a obtenu une telle licence.

Une licence de mathématiques doit comporter, sur l’ensemble des six semestres d’études, **au moins une moitié** - en horaire et crédits - d’enseignements de mathématiques. Il est essentiel qu’elle contienne également, dans des volumes très significatifs, des enseignements d’ouverture et des enseignements portant sur les autres disciplines scientifiques, avec des orientations pouvant varier selon les situations et les objectifs choisis.

Il n’est pas question de définir un programme pour les enseignements de mathématiques. L’approche retenue est de présenter un “**socle**”, ensemble de chapitres ou thèmes qui doivent être traités au cours des six semestres de formation, qui ne sont en rien des intitulés d’Unités d’Enseignement, et dont le poids est estimé à **un tiers** environ du volume total de la licence, toutes disciplines confondues.

Un cursus complet de licence ne saurait donc se limiter à la présentation des éléments figurant dans ce socle. **D’autres points** seront inscrits dans chaque maquette, selon des modalités - enseignement obligatoire ou optionnel, place dans les six semestres, etc - variables selon les établissements. Bien entendu, un bon étudiant motivé peut suivre plus d’unités que les 180 crédits nécessaires pour une licence.

L’efficacité de l’enseignement de mathématiques en licence impose de veiller à la taille des Unités d’Enseignement en mathématiques, déterminée par les établissements mais qui ne doit pas être trop petite, à la répartition des enseignements, qui ne doivent pas conduire à trop de morcellement, et à l’organisation du contrôle

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

des connaissances qui n'est pas une fin en soi et ne doit pas conduire à une dépense de temps et d'énergie démesurée.

Les enseignants de master, de préparation au CAPES, pourront donc s'appuyer sur ce socle de connaissances en principe acquises quelle que soit l'origine de leurs étudiants. Les étudiants poursuivant vers d'autres voies ou d'autres métiers en disposeront comme base de références, permettant d'exploiter leurs acquis en mathématiques.

Il y a plusieurs choix cohérents pour l'ordre dans lequel ces différentes notions sont présentées ainsi que pour la présentation de chacune d'entre elles. La pertinence de ces choix pédagogiques dépend souvent de contraintes locales. Même si quelques hypothèses sur cette organisation figurent ci-dessous, celle-ci est bien évidemment laissée à l'initiative de chaque université et de chaque équipe pédagogique. À elles de décider dans quelle mesure ces choix seront imposés aux enseignants.

L'existence d'unités indépendantes incite à construire des enseignements partant de résultats admis, ou justifiés heuristiquement, à partir desquels les autres résultats du cours sont démontrés correctement. Par exemple un cours d'intégration peut parfaitement reposer sur le théorème de Lebesgue alors que celui-ci ne sera démontré qu'en master.

La formation en licence doit permettre à l'étudiant d'améliorer sa perception de la démarche mathématique, en particulier :

- mise en place des " objets mathématiques ", l'introduction d'une notion étant justifiée par des exemples, des motivations liées à son utilisation... , avant même l'énoncé de la définition et la présentation des théorèmes,
- rôle central de la démonstration, même si tout démontrer n'est pas un objectif en soi,
- organisation du raisonnement, ce qui suppose une certaine familiarisation avec les outils de la logique,
- compréhension des structures (en particulier à l'occasion des cours d'algèbre),
- mise en œuvre informatique des calculs formels, numériques, statistiques quand le sujet s'y prête.

Ce socle vise quatre grands objectifs :

- une bonne appropriation de  $\mathbb{R}$ ,  $\mathbb{R}^2$ ,  $\mathbb{R}^3$  du point de vue algébrique, analytique et géométrique,
- la résolution d'équations (linéaires, algébriques, différentielles),
- la notion d'approximation (dans divers cadres),
- l'étude de l'aléatoire (probabilités et statistiques) et du traitement de données.

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

Chaque étudiant ayant obtenu la licence de mathématiques doit, pour cela, posséder les connaissances correspondant aux neuf thèmes ci-après. Il doit être capable, pour chacun d'eux, de réaliser son activité mathématique, que l'on peut traduire par "exercice/problème/capacité de calcul", avec une capacité réelle d'autonomie. Les contenus précis à traiter doivent bien sûr l'être en partant des programmes du lycée.

### Eléments du socle

#### 0) Connaissances transversales

- a. **Nombres réels.** Bornes supérieure et inférieure. Nombres complexes, se rappeler que l'introduction en terminale n'est pas suffisante pour entraîner une vraie familiarité.
- b. **Langage ensembliste.** La présentation des probabilités peut être un bon moment pour une étude un peu plus systématique.
- c. **Logique élémentaire, quantificateurs.** Par exemple en liaison avec les manipulations sur les limites.
- d. **Notion d'algorithme.** Donner des exemples classiques.

#### 1) Géométrie

Droites et plans. Produit scalaire, produit vectoriel, produit mixte. Changements de repère, transformations affines. Courbes paramétrées. Coordonnées polaires. Longueur, courbure. Notions élémentaires sur les coniques, applications en mécanique et en physique.

#### 2) Algèbre linéaire

- a. **Théorie élémentaire.** Calcul matriciel, méthode du pivot. Espace vectoriel et applications linéaires. Rang.
- b. **Déterminants.** Calcul et emploi pour l'indépendance linéaire et le calcul de volumes.
- c. **Théorie spectrale.** Valeurs propres et vecteurs propres, diagonalisation. Exemples d'applications : systèmes dynamiques, systèmes différentiels, analyse des données.
- d. **Algèbre bilinéaire.** Formes bilinéaires et quadratiques, espaces euclidiens, espaces de Hilbert. Applications aux coniques.

#### 3) Fonctions d'une variable

- a. **Théorie élémentaire.** Etude locale (développements limités), étude globale (théorème des accroissements finis), fonctions usuelles.
- b. **Intégrales et primitives.** Définition de l'intégrale et interprétation comme aire (la démonstration de l'existence n'est pas indispensable). Méthodes de calcul et de calcul approché. Théorème de la convergence dominée et applications.

---

SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

---

c. **Equations différentielles.** Equations linéaires du premier ordre et du second ordre à coefficients constants (utilisation des nombres complexes et quelques applications en physique). Méthodes de résolution numériques. Exemples d'équations différentielles plus générales.

d. **Intégrales généralisées.**

4) *Fonctions de plusieurs variables*

a. **Représentations graphiques.** Surfaces, lignes de niveau, champs de vecteurs.

b. **Calcul différentiel.** Différentielle et plan tangent, recherche d'extrémum, formule de Taylor à l'ordre 2, utilisation du théorème des fonctions implicites. Gradient.

c. **Intégrales multiples.** Enoncé des théorèmes de Fubini et du changement de variables, calcul d'aires et de volumes.

5) *Suites et séries*

a. **Suites et séries numériques.**

b. **Suites et séries de fonctions.** Séries entières, séries de Fourier.

6) *Probabilités et statistique*

a. **Probabilités élémentaires.** Conditionnement, indépendance. Variables aléatoires discrètes et continues dans  $\mathbb{R}$  et  $\mathbb{R}^2$ . Convergence (loi faible et théorème central limite), usage pour les approximations. Simulation aléatoire, principe et applications.

b. **Statistique descriptive et inférentielle.** Analyse en composantes principales (en liaison avec le point 2.c), notion de qualité d'une représentation résumée de données. Modélisation aléatoire en statistique. Estimation et intervalle de confiance, problématique et exemple de tests (sur les paramètres : proportion, moyenne, variance ; du  $\chi^2$ ). Application aux sondages.

7) *Analyse numérique*

Méthodes de résolution de systèmes linéaires, d'équations  $f(x) = 0$ . Calculs approchés d'intégrales, de solutions d'équations différentielles. Mise en œuvre numérique par un logiciel adapté.

8) *Arithmétique*

Arithmétique de  $\mathbb{Z}$ . Arithmétique des polynômes.  $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ . Corps finis (cas de  $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$ ). Applications aux codes ou à la cryptographie.

9) *Structures de base*

Notion de groupe, groupe des permutations, groupes de la géométrie (des déplacements, conservant une figure donnée), exemples de structures quotient.

En outre, la formation devra obligatoirement comprendre :

- l'apprentissage d'un logiciel de calcul (calcul formel ou calcul scientifique)

## SOCLE DE LA LICENCE DE MATHÉMATIQUES

- la conduite de situation(s) de modélisation

Tous les thèmes peuvent donner lieu à des exercices de géométrie, en particulier 0 (nombres complexes), 2, 3, 4, 8 (racines de l'unité, géométries finies pour le codage), 5, 7, 9. Plusieurs d'entre eux, en particulier les thèmes 2 (théorie spectrale, formes quadratiques), 3, 4, 5, 7 (calculs explicites de moyennes, logiciels de simulation, méthodes de type Monte-Carlo) ont des applications en, ou utilisent, les probabilités et l'analyse numérique.

Il est également intéressant que la formation inclue certains problèmes classiques de la physique qui ont un fort aspect mathématique : mécanique classique, rudiments de relativité restreinte, de mécanique quantique pour des problèmes en dimension finie, de propagation de la chaleur...

### Au delà du socle

Ce socle n'inclut pas de larges pans des mathématiques, accessibles pourtant par les étudiants de licence et pouvant figurer, selon les maquettes de chaque université, au titre de la nécessaire part "hors socle" de l'enseignement.

Il peut s'agir aussi bien d'approfondissements de notions faisant partie du "socle" que de "nouvelles notions", donnant lieu à un premier apprentissage, approfondissements et nouveautés pouvant dans certains cas être intimement associés.

### Voici une liste purement indicative de telles nouvelles notions.

Algèbre générale

Applications industrielles de la statistique (fiabilité, contrôle de qualité)

Calcul différentiel

Equations aux dérivées partielles

Fonctions de variable complexe

Géométrie différentielle

Géométrie élémentaire et analytique

Histoire des mathématiques

Intégrales de surface, flux, formule de Green-Riemann

Intégration : transformées de Fourier, espaces  $L^2$

Introduction aux mathématiques de la décision

Mathématiques discrètes : dénombrement, graphes,

Méthodes numériques (pour l'algèbre linéaire, l'optimisation, )

Modèles linéaires en statistique

Optimisation et analyse convexe

Processus stochastiques

Réseaux - pavages

Statistique non paramétrique

Systèmes différentiels et stabilité des solutions

Théorie des nombres

Topologie (de  $\mathbb{R}^n$ )



Mathematics

[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

## Mathématiques & Applications

*par Grégoire Allaire et Michel Benaïm,*  
directeurs de "Mathématiques et Applications",  
*et par Monique Dauge et Olivier Pironneau,*  
directeurs de "Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI".

La Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) publie deux collections de livres scientifiques. La plus ancienne est "Mathématiques et Applications", éditée par Springer depuis 1992, qui accueille des cours de niveau Master M2, fin d'études d'écoles d'ingénieurs ou école doctorale, et des monographies de recherche à un niveau introductif. La plus récente est "Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI", éditée chez Dunod depuis 2006, qui publie des ouvrages d'enseignement de niveau Master M1. L'objet de cet article est de présenter ces deux collections et d'expliquer leur différence d'objectifs.

Le but de la collection "Mathématiques et Applications" est donc d'éditer, en français ou en anglais, des cours avancés de Master M2, d'école doctorale ou des introductions pédagogiques à des domaines de recherche. Les lecteurs concernés sont des étudiants de niveau pré-doctorat ou doctorat, mais également des chercheurs et ingénieurs de tous horizons qui veulent s'initier aux méthodes et aux résultats des mathématiques appliquées. Les sujets abordés couvrent aussi bien les domaines classiques des mathématiques appliquées (analyse numérique et équations aux dérivées partielles, probabilités et statistiques, optimisation et recherche opérationnelle...) que des applications plus spécifiques (en sciences naturelles et physiques, économie, informatique, sciences de l'ingénieur, traitement du signal...). Certains ouvrages auront ainsi une vocation purement pédagogique alors que d'autres pourront constituer des textes de référence. La vocation de cette collection est d'être distribuée largement dans le monde entier grâce à son éditeur international, Springer. Les ouvrages publiés sont majoritairement en langue française mais certains sont écrits en anglais. Le comité éditorial, nommé par la SMAI pour des mandats de 4 ans, est le garant de la qualité scientifique et pédagogique des ouvrages.

La collection “Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI” s’inscrit dans le cadre de la nouvelle organisation LMD de l’enseignement supérieur. Son but est de promouvoir une nouvelle génération d’ouvrages de niveau Master M1, mieux adaptés aux cursus actuels. Elle s’inscrit dans le prolongement de l’ancienne collection “Mathématiques appliquées pour la maîtrise”, dirigée par Ph. Ciarlet et J.-L. Lions chez Masson, et reprise par Dunod. Elle permet aux étudiants, scientifiques ou ingénieurs d’acquérir les bases théoriques d’un nouveau domaine mathématique avec des clefs pour une exploitation appliquée. Ainsi, sa lisibilité accrue est au service de la qualité scientifique. La SMAI assure la direction éditoriale grâce un comité renouvelé périodiquement, et largement représentatif des différents thèmes des mathématiques appliquées. Son ambition est de constituer un ensemble d’ouvrages de référence. Les ouvrages sont publiés exclusivement en langue française mais Dunod peut aider à une publication ultérieure en anglais pour une diffusion à l’étranger.

Les lecteurs ou auteurs potentiels trouveront plus d’informations à propos de ces deux collections sur le site web de la SMAI (<http://smai.emath.fr/>) à la rubrique “publications”.

#### **Annexe**

Derniers ouvrages parus dans la collection “Mathématiques et Applications” :

- Volume 58, G. Allaire, Conception optimale de structures, 2007, 278 p.
- Volume 59, M. Elkadi, B. Mourrain, Introduction à la résolution des systèmes polynomiaux, 2007, 307 p.
- Volume 60, N. Caspard, B. Monjardet, B. Leclerc : Ensembles ordonnés finis : concepts, résultats et usages, 2007, 340 p.
- Volume 61, H. Pham, Optimisation et contrôle stochastique appliqués à la finance, 2007, 188 p.

Ouvrages parus dans la collection “Mathématiques appliquées pour le Master/SMAI” :

- F. Comets et T. Meyre, Calcul stochastique et modèles de diffusion, 2006, 336 p.
- F. Bonnans, Optimisation continue, 2006, 336 p.
- E. Pardoux, Processus de Markov et applications, 2007, 336 p.
- B. Bercu et D. Chafaï, Modélisation stochastique et simulation, 2007, 352 p.

## Mathématiques & Applications

Collection de la SMAI éditée par Springer-Verlag

Directeurs de la collection : M. Benaïm et G. Allaire

- Vol. 34 J. Istas, *Introduction aux modélisations mathématiques pour les sciences du vivant*, 2000, 160 pp., 29,95 €- tarif SMAI : 23,96 €
- Vol. 35 P. Robert, *Réseaux et files d'attente : méthodes probabilistes*, 2000, 386 pp., 63,95 €- tarif SMAI : 51,16 €
- Vol. 36 A. Ern, J.- L. Guermond, *Éléments finis : théorie, applications, mise en œuvre*, 2002, 430 pp., 74,95 €- tarif SMAI : 59,96 €
- Vol. 37 S. Sorin, *A first course on zero-sum repeated games*, 2002, 204 pp., 37,93 €- tarif SMAI : 30,34 €
- Vol. 38 J.F. Maurras, *Programmation Linéaire, Complexité, Séparation et Optimisation*, 2002, 221 pp., 42,95 €- tarif Smai : 34,36 €
- Vol. 39 B. Ycart, *Modèles et Algorithmes Markoviens*, 2002, 272 pp., 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
- Vol. 40 B. Bonnard, M. Chyba, *Singular Trajectories and their Role in Control Theory*, 2003, 357 pp., 68,52 €- tarif SMAI : 54,82 €
- Vol. 41 A.B. Tsybakov, *Introduction à l'estimation non- paramétrique*, 203, 175 pp., 34,95 €- tarif SMAI : 27,95 €
- Vol. 42 J. Abdeljaoued, H. Lombardi, *Méthodes matricielles - Introduction à la complexité algébrique*, 2004, 377 pp., 68,95 €- tarif SMAI : 55,16 €
- Vol. 43 U. Boscain, B. Piccoli, *Optimal Syntheses for Control Systems on 2-D Manifolds*, 2004, 261 pp., 52,70 €- tarif SMAI : 42,16 €
- Vol. 44 L. Younes, *Invariance, déformations et reconnaissance de formes*, 2004, 248 pp., 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
- Vol. 45 C. Bernardi, Y. Maday, F. Rapetti, *Discrétisations variationnelles de problèmes aux limites elliptiques*, 2004, 310 pp., 57,95 €- tarif SMAI : 46,36 €
- Vol. 46 J.P. François, *Oscillations en biologie. Analyse qualitative et modèles*, 2005, 179 pp., 35,95 €- tarif SMAI : 28,76€
- Vol. 47 C. Le Bris, *Systèmes multi-échelles. Modélisation et simulation*, 2005, 212 pp., 45,95 €- tarif SMAI : 36,76 €
- Vol. 48 A. Henrot, M.Pierre, *Variation et optimisation de formes. Une analyse géométrique*, 2005, 334 p., 62,95 € - tarif SMAI : 50,36 €
- Vol. 49 B. Bidégaray-Fesquet, *Hiérarchie de modèles en optique quantique. De Maxwell-Bloch à Schrodinger non-linéaire*, 2006, 175 p., 34,95 € - tarif SMAI : 27,96 €
- Vol. 50 R. Dager, E. Zuazua, *Wave Propagation, Observation and Control in 1 - d Flexible Multi-structures*, 2006, 221 p., 42,15 €- tarif SMAI : 33,72 €

- Vol. 51 B. Bonnard, L. Faubourg, E. Trélat, *Mécanique céleste et contrôle des véhicules spatiaux*, 2006, 276 p., 54,95 € - tarif SMAI : 43,96 €
- Vol. 52 F. Boyer, P. Fabrie, *Eléments d'analyse pour l'étude de quelques modèles découlements de fluides visqueux incompressibles*, 2006, 398 p., 74,95 €- tarif SMAI : 59,96 €
- Vol. 53 E. Cancès, C. Le Bris, Y. Maday, *Méthodes Mathématiques en Chimie Quantique. Une Introduction*, 2006, 411 p., 80,95€- tarif SMAI : 64,76€
- Vol. 54 J. P. Dedieu, *Points Fixes, Zéros et la Méthode de Newton*, 2006, 196 p., 35,95€- tarif SMAI : 28,76€
- Vol. 55 P. Lopez, A. S. Nouri, *Théorie Élémentaire et Pratique de la Commande par les Régimes Glissants*, 2006, 336 p., 64,95€- tarif SMAI : 51,96€
- Vol. 56 J. Cousteix, J. Mauss, *Analyse Asymptotique et Couche Limite*, 2006, 396 p., 79 €- tarif SMAI : 63,20 €
- Vol 57 J. F. Delmas, B. Jourdain, *Modèles aléatoires. Applications aux sciences de l'ingénieur et du vivant*, 2006, 433 p., 84 €- tarif SMAI : 67,20 €
- Vol 58 G. Allaire, *Conception optimale de structures*, 2006 - 2007, 280 p., 58 €- tarif SMAI : 46,40 €
- Vol 59 M. Elkadi, B. Mourrain, *Introduction la résolution des systèmes polynomiaux*, 2007, 307 p., 59 €- tarif SMAI : 47,20 €
- Vol 60 N. Caspard, B. Monjardet, B. Leclerc, *Ensembles ordonnés finis : concepts, résultats et usages*, 2007, 340 p., 58 €- tarif SMAI : 46,60 €
- Vol 61 H. Pham, *Optimisation et contrôle stochastique appliqués à la finance*, 2007, 188 p., 35 €- tarif SMAI : 28 €
- Vol 62 H. Ammari, *An Introduction to Mathematics of Emerging Biomedical Imaging*, 2008, 205 p., 46 €- tarif SMAI : 36,80 €
- Vol 63 C. Gaetan, X. Guyon, *Modélisation et statistique spatiales* 2008, 330 p., 64 €- tarif SMAI : 51.20 €

*Le tarif SMAI (20% de réduction) et la souscription (30% sur le prix public) sont réservés aux membres de la SMAI.*

Pour obtenir l'un de ces volumes, adressez votre commande à :

Springer-Verlag, Customer Service Books -Haberstr. 7

D 69126 Heidelberg/Allemagne

Tél. 0 800 777 46 437 (No vert) - Fax 00 49 6221 345 229 - e-mail : orders@springer.de

Paiement à la commande par chèque à l'ordre de Springer-Verlag ou par carte de crédit (préciser le type de carte, le numéro et la date d'expiration).

Prix TTC en France (5,5% TVA incl.). Au prix des livres doit être ajoutée une participation forfaitaire aux frais de port : 5 €(+ 1,50 €par ouvrage supplémentaire).

## Publications de la Real Sociedad Matemática Española

par Guillermo Curbera<sup>4</sup>, Editeur Général de la RSME

La Real Sociedad Matemática Española et la American Mathematical Society disposent d'un accord pour la publication conjointe de textes scientifiques. Les collections choisies pour ces publications sont : Graduate Studies in Mathematics, Mathematical Surveys and Monographs, University Lecture Series et Contemporary Mathematics.

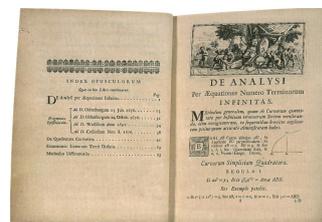
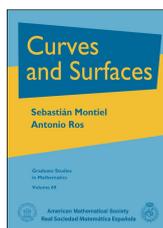
**Quelques textes déjà parus :** · Curves and Surfaces de Sebastián Montiel et Antonio Ros dans la collection Graduate Studies in Mathematics no. 69.

· Recent Trends in Partial Differential Equations dont les editeurs sont Juan Luis Vázquez, Xavier Cabré et José Antonio Carrillo dans la collection Contemporary Mathematics, no. 409.

**Prochaines parutions :** · Three lectures in Commutative Algebra dans la collection University Lecture Series.

· Recent Trends in Cryptography dans la collection Contemporary Mathematics.

La Real Sociedad Matemática Española, en collaboration avec d'autres institutions scientifiques, édite des versions facsimilées de textes classiques de Mathématiques. Les éditions comportent deux volumes. Le premier est une reproduction facsimilé de haute qualité et le deuxième est une traduction annotée à l'espagnol qui comprends quelques études préliminaires. Les oeuvres publiées jusqu'à présent sont : Introductio in Analysin Infinitorum de Leonhard Euler, Analysis de Isaac Newton, et une Selección de obras de Arquímedes (ce livre fut le présent institutionnel dans le ICM tenu en 2006 à Madrid)



Ces livres peuvent être commandés en ligne auprès du Magasin Virtuel de la Société : <http://www.rsme.es>

<sup>4</sup>Fac. de Matemáticas, Univ. de Sevilla, Apto. 1160, 41080 Sevilla, Espagne– [curbera@us.es](mailto:curbera@us.es)

# MathS in A.

## Mathematics In Action

**Un nouveau journal dont  
l'objectif est de promouvoir  
les interactions entre les  
Mathématiques et les autres  
sciences, en publiant des  
articles écrits par au moins  
deux auteurs : un mathématicien  
et un spécialiste d'une autre  
communauté scientifique  
(biologie, économie,  
informatique, physique, etc.).**

***Electronique et  
libre d'accès***

### **Editeurs en chef**

Yvon Maday  
Denis Talay

### **Comité éditorial**

Francois Baccelli  
John Ball  
Guy Bouchitte  
Alexandre Chorin  
Stéphane Cordier  
Felipe Cucker  
Claude Le Bris  
Pierre-Louis Lions  
Sylvie Méléard  
George Papanicolaou  
Olivier Pironneau  
Alfio Quarteroni  
Simon Tavaré  
Thaleia Zariphopoulou

site web : <http://msia.cedram.org/>

Publié par la SMAI avec le concours du CEDRAM (Centre de Diffusion de Revues  
Académiques Mathématiques (<http://www.cedram.org/>); service de la Cellule  
MathDoc UMS 5638 CNRS/Université Joseph Fourier)



## Les Ecoles Hispano-Françaises Jacques-Louis LIONS de Simulation Numérique en Physique et en Ingénierie (1984-2006)

MICHEL BERNADOU<sup>1</sup>

Pôle Universitaire Léonard de Vinci  
92916 Paris La Défense cedex (France)  
michel.bernadou@devinci.fr  
et INRIA, 78153 Le Chesnay cedex (France)

L’objectif de ce mémoire est de synthétiser les orientations et les réalisations des douze premières Ecoles Hispano-Françaises tenues en Espagne à fréquence bis-annuelle de 1984 à 2006. A compter de 2004, ces Ecoles ont été dénommées “Ecoles Jacques-Louis Lions” à l’initiative de la SEMA (Sociedad Española de Matemática Aplicada) pour honorer la mémoire de Jacques-Louis Lions qui, avec ses exceptionnelles qualités scientifiques et humaines, s’est énormément impliqué dans la mise en place de collaborations nombreuses et fructueuses entre la plupart des groupes d’analyse et de simulation numérique de nos deux pays.

Après un bref synopsis des principaux aspects de l’Analyse et de la Simulation Numérique en Physique et en Ingénierie, nous donnons un compte-rendu détaillé de ces douze premières Ecoles.

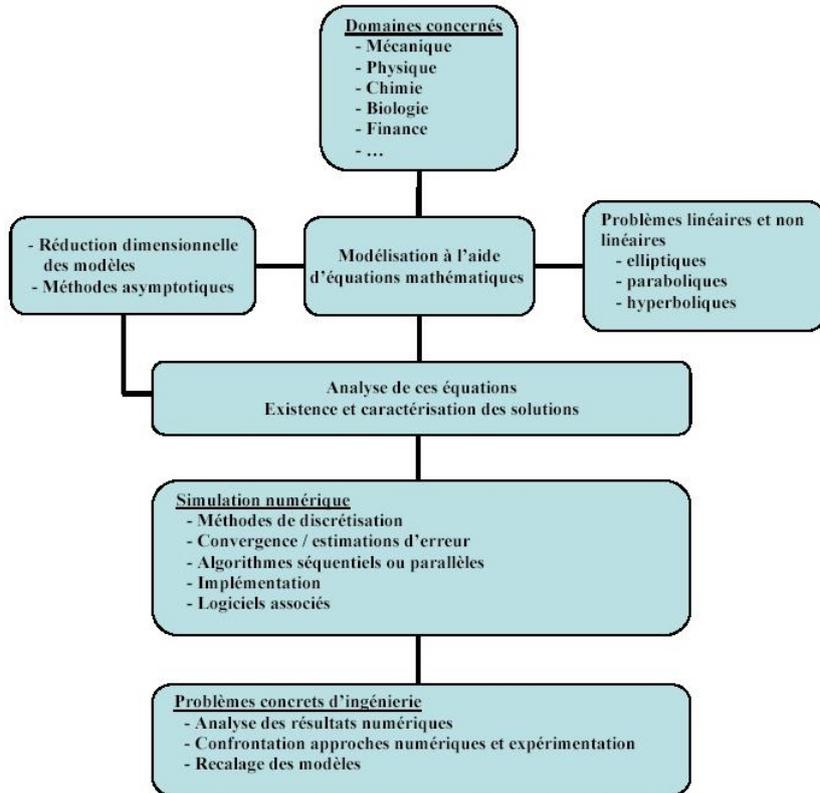
### 1 Principaux aspects de l’Analyse et de la Simulation Numérique en Physique et en Ingénierie

Les procédés de conception, de production, d’analyse de comportements, de financement, liés à des problèmes concrets d’ingénierie d’origine mécanique, physique, chimique, médicale sont désormais réalisés pour l’essentiel par voie numérique dans le cadre de ce que l’on désigne par l’ “Ingénierie Virtuelle”. Celle-ci s’est considérablement développée en parallélisme étroit avec l’essor des outils informatiques (matériels et logiciels). La modélisation des problèmes monodisciplinaires de base a été suivie par celle des problèmes couplés multidisciplinaires et par l’étude des problèmes inverses. Nous indiquons ci-après les squelettes de ces différentes étapes renvoyant aux publications générales et spécialisées sur ces différents sujets pour davantage de détails. L’objet de ces Ecoles est essentiellement de donner des coups de projecteurs sur les diverses techniques sous-jacentes et d’aider et de motiver les chercheurs qui y sont confrontés.

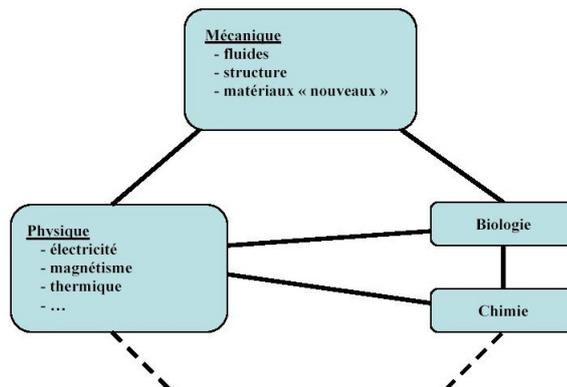
<sup>1</sup>avec la participation pour la présentation et pour la version espagnole à paraître dans le “Boletín de la Sociedad Española de Matemática Aplicada” de Carlos Parés Madroñal et de Carlos Vásquez Cendón

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

*Problèmes monodisciplinaires directs :*



*Problèmes couplés :*



*Ainsi que les **problèmes inverses** (Optimisation, Contrôle, Contrôlabilité...).*

## 2 Le contexte général des collaborations franco-espagnoles

La création et la poursuite depuis plus de vingt ans des Ecoles d'Automne Hispano-Françaises s'inscrivent complètement dans la très importante collaboration développée depuis bientôt quarante années entre nos deux pays dans le domaine de l'Analyse Numérique, et, plus précisément comme l'indique l'intitulé de ces Ecoles, dans la Simulation Numérique en Physique et en Ingénierie. C'est pourquoi, avant d'aborder le contenu de ces douze premières Ecoles, nous rappellerons les principaux aspects de cette longue et très riche collaboration qui a associé scientifiquement et amicalement la plupart des meilleurs spécialistes de l'Analyse et de la Simulation Numérique de nos deux pays.

La genèse de cette collaboration remonte à 1963 lorsque Alberto Dou de Madrid suggère à l'un de ses disciples, Antonio Valle, de préparer un doctorat sous la direction de Jacques-Louis Lions qui venait de rejoindre la Faculté des Sciences de Paris. Les qualités scientifiques et humaines de J.L. Lions et l'appui inconditionnel donné à A. Valle ont scellé une amitié et une estime réciproques qui se sont amplifiées au fil du temps et des collaborations successives de plus en plus fructueuses.

En s'inspirant de son exemple personnel et dans le but de former un noyau dur de scientifiques espagnols en Analyse et Méthodes Numériques, A. Valle a favorisé à son tour des séjours en France de certains de ses meilleurs élèves des Universités de Saint-Jacques-de-Compostelle, puis de Séville et enfin de Málaga. La plupart d'entre eux ont effectué le DEA d'Analyse Numérique à l'Université Pierre et Marie Curie puis ont prolongé par un Doctorat préparé très souvent à l'INRIA mais aussi pour quelques uns directement au Laboratoire d'Analyse Numérique ou à l'Ecole Polytechnique. Ces échanges, au départ informels, ont reçu assez rapidement le précieux soutien des Universités espagnoles concernées mais aussi des Services Scientifiques des Ambassades d'Espagne à Paris et de France à Madrid au travers de la mise en place d' "Actions Intégrées" bilatérales (prises en charge de voyages et de séjours des responsables français et espagnols des échanges, prises en charge de bourses d'études doctorales) associant des Universités espagnoles (Saint-Jacques-de-Compostelle, Séville, l'Université Polytechnique de Madrid, Málaga) et, côté français, de l'INRIA, pierre angulaire de la collaboration, mais aussi du Laboratoire d'Analyse Numérique de l'Université Pierre et Marie Curie, de l'Ecole Polytechnique. Ajoutons que ces nombreuses et fructueuses collaborations dans les domaines de l'Analyse et de la Simulation Numérique se sont étendues ensuite à d'autres secteurs, notamment pour ce qui est de l'INRIA à l'informatique, à la vision par ordinateur et au traitement d'images à la fois dans le cadre de projets bilatéraux PICASSO mais aussi dans le cadre de participations communes à des Réseaux ou à des Projets de Recherche multilatéraux européens.

### 3 Mise en place des Ecoles d’Automne Hispano-Françaises

Revenons au début des années 1980. Les Actions Intégrées bilatérales avaient permis d’institutionnaliser des échanges sans cesse croissants entre notamment (liste non exhaustive) :

- les Universités de Saint-Jacques-de-Compostelle, de Séville, Polytechnique de Madrid, Málaga ;
- l’IRIA (devenu INRIA fin 1979), l’Université Pierre et Marie Curie, l’Ecole Polytechnique.

Ces collaborations comportaient l’accueil de doctorants espagnols dans les équipes françaises et des séjours de travail de courte durée des responsables espagnols et français.

Entre-temps J.L. Lions avait été nommé Président Directeur Général de l’INRIA et il souhaitait donner une impulsion complémentaire forte à cette collaboration à laquelle A. Valle et lui-même étaient très attachés. C’est dans ce contexte et en qualité de responsable pour l’INRIA des activités de Formation par la Recherche que J.L. Lions et R. Glowinski m’ont demandé de me rendre les 6 et 7 juin 1983 à Madrid pour participer à une réunion scientifique associant un grand nombre de scientifiques espagnols spécialistes d’Analyse et de Méthodes Numériques. En marge de cette réunion, une initiative de renforcement des échanges franco-espagnols sera abordée, tu verras ce qu’il en est sur place, m’avaient-ils dit. Muni de ces instructions générales, je suis donc parti à Madrid où j’ai été chaleureusement accueilli à l’aéroport par F. Michavila, Directeur du Département d’Analyse Numérique de l’Ecole des Mines de Madrid (Université Polytechnique de Madrid) et par H. Carsalade, Conseiller Scientifique auprès de l’Ambassade de France à Madrid. De là nous nous sommes immédiatement dirigés vers Alcalá de Henares où la réunion venait de commencer. Et effectivement après une journée et demi d’échanges scientifiques et quelques consommations prises en soirée sur la très belle place d’Alcalá de Henares, les contours d’une première Ecole d’Automne Hispano-Française sur la Simulation Numérique en Mécanique et en Physique se sont dessinés. C’est A. Bermúdez de Castro, Professeur à l’Université de Saint-Jacques-de-Compostelle et plus ancien doctorant espagnol de l’INRIA qui allait se charger de l’organisation de cette première rencontre.

### 4 Les objectifs de ces Ecoles

- Informer les personnes intéressées par les Mathématiques Appliquées et, plus particulièrement par les nouvelles possibilités offertes par la Simulation Numérique qui fait l’objet de recherches et de développements tant en Espagne qu’en France ;
- Servir de points de rencontre entre Chercheurs, Professeurs, Ingénieurs industriels et jeunes diplômés des deux pays ;

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Présenter des applications effectives de la Simulation Numérique dans les entreprises industrielles espagnoles et françaises ;
- Analyser les apports futurs que la Simulation Numérique peut apporter dans les divers secteurs industriels de nos deux pays.

### 5 Les Ecoles successives

Le contexte de création de cette suite d'Ecoles et leurs objectifs étant en place, nous rappelons succinctement les faits marquants et les évolutions successives qu'elles ont connues. Pour chacune d'elles, nous indiquons systématiquement :

- le contexte,
- les intervenants et les programmes,
- les participants.

Il convient de souligner que toutes ces Ecoles ont bénéficié d'un soutien constant et déterminant des Universités espagnoles organisatrices, de l'INRIA et des Services Scientifiques de l'Ambassade de France à Madrid.

#### 5.1 Première Ecole : Saint-Jacques-de-Compostelle, du 22 au 26-10-1984

Le choix de Saint-Jacques-de-Compostelle ne relève pas du hasard. Après son doctorat à Paris, A. Valle y a monté un premier Laboratoire d'Analyse Numérique avant de rejoindre Séville où il finit de mettre sur pied un second laboratoire. Le laboratoire de Saint-Jacques-de-Compostelle est désormais placé sous la responsabilité de A. Bermúdez de Castro.

Cette Ecole qui n'est pas encore qualifiée de première (rien n'assure alors qu'il y en aura d'autres) est d'emblée intitulée "d'Automne" car elle se déroule fin octobre. Il y aura par la suite des distorsions de calendrier, les autres Ecoles, se déroulant en fin d'été, généralement la troisième semaine de septembre durant les années paires. La dernière semaine d'été a pour avantage de se situer en Espagne après la seconde session d'examen et avant la rentrée universitaire des étudiants. L'Ecole s'est déroulée dans les locaux modernes de l'Université de Saint-Jacques-de-Compostelle situés non loin du très remarquable centre ville, classé peu après et à juste titre patrimoine mondial de l'Humanité par l'Unesco. Inutile de préciser que ces richesses historiques, religieuses et monumentales ont largement meublé l'après-midi libre du mercredi et cela d'autant mieux - pour la partie française au moins - que l'après-midi commence en Espagne vers 15h30-16h !

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

### 5.1.1 Programme

Pour cette première Ecole, les interventions ont porté sur des thèmes “classiques” des méthodes numériques :

- Propagation de la chaleur : A. Bermúdez de Castro et J. Durany (Univ. St.-Jacques-de-Compostelle) : Modélisation. Cadre d’analyse fonctionnelle. Approche numérique ;
- Mécanique du solide : M. Bernadou (INRIA) et J.M. Viaño (Univ. St.-Jacques-de-Compostelle) : Plaques minces. Coques minces. Biomécanique osseuse ;
- Mécanique des fluides : T. Chacón (Univ. de Séville), R. Glowinski (Univ. Paris 6 et INRIA) et O. Pironneau (Univ. Paris 13 et INRIA) : Equations de Navier-Stokes pour les fluides visqueux incompressibles. Equations de Navier-Stokes pour les fluides visqueux compressibles. Equations d’Euler ;
- Méthodes numériques pour la diffusion d’impuretés dans un semi-conducteur : E. Fernández Cara (Univ. de Séville), A. Marrocco (INRIA) ;
- Logiciel de recherche Modulef : P.L. George (INRIA) : Présentation générale. Quelques exemples de problèmes résolus dans Modulef. Démonstrations d’utilisations.

### 5.1.2 Participants

Cette Ecole a réuni 93 auditeurs (conférenciers compris) provenant pour l’essentiel d’Universités et Centres de Recherches espagnols bien répartis sur l’ensemble du pays. Ce sont plus précisément :

- Espagne : Universités Autonome de Barcelone (1) ; de Cadix (2, dont 1 d’Algeciras) ; Cantabrique (4) ; Cordoue (2) ; Autonome (2) et Polytechnique (8) de Madrid ; Oviedo (15) ; Pays Basque (2) ; Polytechnique de Catalogne (1) ; Polytechnique de Valence (3) ; UNED (1) ; Saragosse (2) ; St.-Jacques-de-Compostelle (32, dont 6 de Vigo, 5 de La Corogne, 1 d’Orense, 1 du Ferrol) ; Séville (2) ; Valladolid (4, dont 2 de Burgos) ; Pontificia (1) ; San Sebastian (2). Telefónica (1), INTA Aerospacial (1), ENIEMSA (1) de Madrid ;
- France : INRIA Rocquencourt (4) ; Univ. Pierre et Marie Curie (1) ;
- Portugal : IST de Lisbonne (1).

### 5.1.3 Conclusion

L’objectif de réunir pendant une semaine les principaux intervenants et utilisateurs espagnols en méthodes numériques, jeunes et confirmés a été pleinement atteint. La demande de collaboration entre les deux pays a été fortement ressentie ainsi que celle de formation complémentaire en France. Ces demandes concernaient bien évidemment les méthodes de simulations numériques mais plus largement la formation d’informaticiens de haut niveau, de futurs cadres universitaires pour laquelle l’INRIA a été sollicité.

## 5.2 Deuxième Ecole : “Castillo de Bil-Bil, Benalmadena-Costa (Málaga)”, du 29-09 au 4-10-1986

Après le succès remporté par la première Ecole très bien organisée par A. Bermúdez de Castro, J. Durany et J.M. Viaño dans la cité historique de Saint-Jacques-de-Compostelle, la tenue d’une seconde Ecole, cette fois-ci dans le sud de l’Espagne a été confirmée. A. Valle venait de quitter Séville pour rejoindre sa cité natale de Málaga et y édifier, après St. Jacques de Compostelle et Séville, son troisième Laboratoire d’Analyse Numérique ! Il voyait dans la tenue de cette Ecole, l’occasion de faire connaître sa jeune équipe de numériciens tant auprès de la communauté espagnole qu’auprès de quelques responsables français. Cette démarche qu’il a réitérée bien des fois sous des formes diverses a fortement contribué à faire connaître sa jeune équipe, peu nombreuse, mais de grande qualité.

Pour ce qui est de l’implantation de l’Ecole elle-même, A. Valle a retenu le très séduisant Castillo de Bil-Bil qui se dresse sur la plage tel un château de sable. De plus, il a souhaité associer ses anciens collègues de Séville à la tenue de cette Ecole : l’ensemble des participants s’est donc rendu à Séville pour une présentation du logiciel Modulef suivie d’un déjeuner et d’une excursion au centre de la ville comportant l’ascension de la Giralda.

### 5.2.1 Programme

Très riche puisque des sessions parallèles sont mises en place et l’Ecole s’étend jusqu’au samedi matin. En tout, près de 35 heures d’interventions scientifiques, un record absolu qui ne sera pas battu par la suite :

- Les outils de base des méthodes numériques : C. Conde (Ecole des Mines de Madrid) et J. Durany (Univ. de St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Elasto-Visco-Plasticité : P. Le Tallec (LCPC Paris) et J.M. Viaño (Univ. de St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Turbulence : T. Chacón (Univ. de Séville) ;
- Fracture : P. Destuynder (Ecole Centrale de Paris) et F. Michavila (Ecoles des Mines de Madrid) ;
- Modulef : E. Fernández Cara et R. Echevarría (Univ. de Séville) ;
- Optimisation : J. Cea (Univ. de Nice) ;
- Mécanique des Fluides : J. Périaux (Avions Marcel Dassault/Bréguet Aviation, Paris) et O. Pironneau (Univ. de Paris VI) ;
- Coques : M. Bernadou (INRIA).

### 5.2.2 Participants

L’Ecole comportait 80 auditeurs et intervenants provenant pour l’essentiel d’Universités et Centres de Recherche espagnols avec une excellente répartition géographique et un bon équilibre entre mathématiciens, physiciens/chimistes et ingé-

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

nieurs. Les intervenants français ont continué à s’exprimer en français mis à part J. Cea dont le bilinguisme français/ espagnol a été très apprécié, et, moi-même qui ai essayé de parler espagnol : un retentissant “somos partido ” pour démarrer mon cours n’a laissé aucun doute sur mes compétences en espagnol !

### 5.3 Troisième Ecole : Madrid, du 26 au 30-09-1988

Cette Ecole a été organisée par F. Michavila qui était alors Directeur de l’Ecole des Mines de l’Université Polytechnique de Madrid en collaboration avec les Professeurs C. Conde, M. López et A. Ruiz. Elle s’est tenue dans l’amphithéâtre de la Fundación Gómez-Pardo située à proximité immédiate de l’Ecole des Mines et par conséquent tout près du centre historique de Madrid. Cette proximité a été évidemment mise à profit lors de la demi-journée libre pour visiter ce centre historique (Plaza Mayor, Palais Royal) et surtout le Prado qui figure parmi les plus grands Musées du Monde avec les peintres du Siècle d’Or (le XVIIème) : le Greco, Velázquez, Zurbarán, Murillo ainsi que Ribera et le plus grand peintre espagnol du XVIIIème, Goya.

#### 5.3.1 Programme

Cette Ecole a permis de faire le point sur un certain nombre de sujets traités dans le cadre de la collaboration :

- Notions générales de contrôle : F.J. Elorza (Ecole des Mines de Madrid) ;
- Jonctions entre plaques, jonctions entre coques : M. Bernadou (INRIA) ;
- Optimisation de forme de coques : F. Palma (Univ. de Málaga) ;
- Approximation de coques par des méthodes DKT : P. Mato Eiroa (Univ. St.-Jacques-de-Compostelle).

ainsi que sur certains sujets plus récents qui devaient constituer des voies de recherches prometteuses pour l’avenir :

- Contrôlabilité exacte : J.L. Lions (Collège de France et CNES) ;
- Problèmes hyperboliques non linéaires : P.A. Raviart (Ecole Polytechnique de Paris) ;
- Combustion : B. Larrouturou (INRIA) et A. Liñán (ETSI Aéronautique de Madrid).

Au delà de ces cours, maintenant classiques dans la forme, les organisateurs avaient souhaité mettre l’accent sur la présentation de méthodes de simulation numérique pour la conception, la mise au point, l’optimisation de nouveaux produits industriels. Des collaborations entre chercheurs numériques et industriels commençaient à se mettre en place en Espagne et il était important d’attirer l’attention des nouveaux diplômés et des ingénieurs des bureaux d’études espagnols sur ces nouvelles possibilités qui connaissaient déjà un essor considérable dans les pays Anglo-saxons, en Allemagne et en France notamment. Dans ce but, en

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

complément des cours traditionnels, il était organisé deux autres types d'activités :

- Séminaires “industriels” : ces séminaires présentés par quatre responsables de quatre pôles industriels différents ont permis de définir et d'illustrer quelques problèmes résolus - ou susceptible de l'être - par les apports nouveaux de la simulation numérique :
  - Séminaire “Nucléaire” par C. del Olmo (ENRESA);
  - Séminaire “Aérospatial” par J.L. Lions (CNES);
  - Séminaire “Matériaux” par J. Martí (PRINCIPIA);
  - Séminaire “Pétrole” par P. Samier (ELF-SNEA(P)).
- Tables rondes : deux tables rondes étaient destinées à apporter d'autres éclairages sur ces thèmes industriels d'actualité et à ouvrir la discussion avec les auditeurs :
  - Table ronde “Matériaux nouveaux”, Aérospatial : avec la participation de G. Duvaut (ONERA), J.L. Lions (CNES), J. Martí (PRINCIPIA), M. Simon (CASA), M. Bernadou (Modérateur);
  - Table ronde “Energie” : avec la participation de P. Oustrière (CEA-ANDRA), L. Perez (REPSOL Exploración), P. Samier (ELF), A. Uliberri (ENRESA), F. Michavila (Modérateur).

Ainsi, cette Ecole a mis encore davantage l'accent sur les retombées industrielles effectives de la Simulation Numérique. Elle a aussi introduit des Séminaires/ Conférences d'une heure aux côtés des cours pour illustrer des applications importantes.

### 5.3.2 Participants

La présence de J.L. Lions, les ouvertures, la position centrale de Madrid et l'excellente organisation expliquent sans aucun doute le nombre d'auditeurs : 145 incluant les intervenants. Plus précisément les points d'attaches de ces participants étaient :

- En Espagne : Universités Cantabrique (2); Castille-La Mancha (4, dont 1 d'Albacete et 3 d'Almadén); Cordoue (3); Grenade (2); Las Palmas (1); Málaga (6); Murcie (2); Oviedo (8); Pays Basque (6); Polytechnique de Catalogne (1); Polytechnique de Valence (2); Salamanque (1); Saint-Jacques-de-Compostelle (16, dont 1 du Ferrol, 2 de La Corogne et 2 de Vigo); Saragosse (3); Séville (8); Valence (6); Valladolid (2). Lycée de Mijas (Málaga) (1). INCAPSA (1) de Murcie.
- A Madrid en particulier : Univ. Polytechnique (38); UNED (5); CASA (3); CIE-MAT (2); Enresa (5); ICAI (1); EGME (1); INYPSA (1); REPSOL (4); SITECSA (2); 1 divers.
- En France : CEA-Andra (1); CNES Paris (1); ELF Pau (1); INRIA Rocquencourt (1) et Nice (1); Ecole Polytechnique, Palaiseau (2); ONERA, Châtillon (1).

## 5.4 Quatrième Ecole : Saint-Jacques-de-Compostelle, du 24 au 28-09-1990

A l'issue des trois premières Ecoles organisées par les trois principaux pôles espagnols de collaboration avec la France, i.e., les Universités de Saint-Jacques-de-Compostelle, de Málaga et Séville, et l'Ecole des Mines de l'Université Polytechnique de Madrid, l'expérience a été jugée très satisfaisante et il a été décidé d'effectuer un nouveau cycle de trois Ecoles qui seraient organisées par chacun des trois pôles successivement. Cette quatrième Ecole est ainsi organisée à Saint-Jacques-de-Compostelle par A. Bermúdez de Castro, P. Quintela et J.M. Viaño. La formule mixte des cours accompagnés de conférences, de séminaires d'applications et d'une table ronde inaugurée à l'Ecole précédente de Madrid est reconduite et ce sont près d'une centaine d'auditeurs qui ont participé à cette nouvelle édition.

### 5.4.1 Programme

Pour les cours, deux thèmes en pleine expansion sont abordés :

- Les méthodes numériques en électromagnétisme : A. Bermúdez de Castro (St.-Jacques-de-Compostelle) et A. Bossavit (Electricité de France) ;
- Quelques méthodes numériques pour les différents problèmes de la mécanique des fluides : J.A. Désidéri (Univ. de Nice), L. Fezoui (INRIA) et E. Fernández Cara (Univ. de Séville).

Au delà des 16 heures de cours, neuf conférences et séminaires de 1h30 ont permis de présenter sous forme synthétique soit des résultats récents dans d'autres axes de recherche, soit des applications de ces méthodes numériques en milieu industriel :

- Conférences : ces conférences ont permis de faire le point sur :
  - Les méthodologies utilisées pour réaliser les maillages : P.L. George (INRIA) ;
  - Les modèles asymptotiques de barres élastiques : J.M. Viaño (Univ. St.-Jacques-de-Compostelle) ;
  - Les méthodes numériques pour la conception de dispositifs optoélectriques : F.J. Mustieles (Telefónica) ;
  - Quelques avancées récentes dans la modélisation des singularités par la méthode des éléments finis : F. Michavila (Ecole des Mines de Madrid) ;
  - L'évolution des supercalculateurs pour la simulation numérique : Ch. Eisenbeis (INRIA).
- Séminaires industriels : l'objet de ces séminaires était de donner quelques exemples d'utilisation en milieu industriel de résultats récents de recherche en méthodes numériques :
  - Simulation numérique de problèmes de coques minces et quelques applications à l'optimisation de forme : F. Palma (Univ. de Málaga) ;
  - Problématiques numériques pour l'industrie nucléaire : C. del Olmo (ENRESA) ;

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

- Simulation des écoulements en conception aérospatiale : B. Stoufflet (Avions Marcel Dassault - Bréguet Aviation) ;
- Environnement utilisateur et fiabilité de logiciels de simulation numérique : C. Saguez (SIMULOG).

Deux volumes réunissant la presque totalité des textes des interventions ont été remis aux participants dès l'ouverture du cours. Dans ces volumes, figure le support écrit de l'intervention que J.L. Lions, en mission à Moscou pour des questions spatiales, n'a pu effectuer : "Quelques remarques sur les raccordements de problèmes d'échelles différents".

### 5.4.2 Participants

Malgré la position géographique excentrée de St.-Jacques-de-Compostelle, ce cours a réuni 81 auditeurs issus dans leur presque totalité du secteur universitaire. Ces derniers provenaient des Universités de Cordoue (3), Las Palmas (2), Málaga (3), Murcie (1), Oviedo (3), Pays Basque (1), Polytechnique de Madrid (13), Polytechnique de Valence (5), St-Jacques-de-Compostelle (25, dont 1 de La Corogne et 4 de Vigo), Salamanque (2), Séville (12), Valladolid (7). L'auditoire comportait pour l'essentiel de jeunes chercheurs ainsi que quelques professeurs en exercice. A ces 81 auditeurs, il convient d'ajouter les 16 intervenants, soit en tout 97 participants.

### 5.4.3 Perspectives

Cette collaboration franco-espagnole en analyse numérique et calcul scientifique est déjà très importante (nombreuses thèses d'étudiants espagnols préparées dans des laboratoires français). Parmi les développements récents, il convient de souligner :

- le stage de Matthieu Hallard à St-Jacques-de-Compostelle : modélisation de la combustion du charbon (avril à juin 90) ;
- l'obtention d'un programme SCIENCE de la Communauté Européenne (en association avec l'INRIA), l'Université de St-Jacques-de-Compostelle et l'Université Technique de Lisbonne. Thème : "Modélisation de jonctions de structures" ;
- l'obtention d'un contrat ERASMUS entre les Universités de Paris VI (avec implication de l'INRIA), de Séville, Málaga, St.-Jacques-de-Compostelle et l'Université Polytechnique de Madrid ;
- la venue à Paris VI de trois étudiants espagnols (1 de St-Jacques-de-Compostelle, 1 de Séville, 1 de Málaga) pour y préparer le DEA d'Analyse Numérique. A l'issue de ce DEA, ces étudiants devaient poursuivre leur séjour en France et préparer des thèses de Doctorat dans les Laboratoires associés à cette formation doctorale (dont l'INRIA).

Ces quatre exemples traduisent non seulement la vitalité de cette collaboration, mais encore son évolution vers un régime d'échanges à parts égales.

---

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

## 5.5 Cinquième Ecole : Castellón de la Plana, du 28-09 au 2-10-92

C'est l'Université Jaume I de Castellón de la Plana en plein développement sous l'action énergique de son nouveau Recteur, F. Michavila aidé de C. Conde, qui nous accueille. En fait l'Ecole va se tenir dans la station balnéaire toute proche de Benicassim, dans la "Villa Elisa" appartenant à la ville de Castelló et située en front de mer, ce qui rappelle le séduisant Castillo de Bil-Bil qui nous avait hébergé pour l'Ecole de 1986 organisée par l'Université de Málaga. Si l'on ajoute que le logement de tous les participants est assuré à l'Hôtel Voramar très proche et lui aussi situé en front de mer, ces deux emplacements ont donné un caractère convivial très apprécié à cette Ecole sans oublier une mémorable excursion en bord de mer suivi d'un excellent repas et pour finir, la dégustation d'une "Queimada" préparée par J.M. Viaño sur la plage.

### 5.5.1 Programme

Trois thèmes de cours ont été retenus, chacun d'eux étant abordé par trois intervenants présentant des approches très complémentaires. Il s'agit de :

- Modélisation de structures minces (plaques, coques), de leurs jonctions et de leurs approximations par éléments finis : P.G. Ciarlet (Univ. Pierre et Marie Curie), F. Palma (Univ. de Málaga), P. Quintela (Univ. St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Modélisation de problèmes issus de la physique : plasmas : P.A. Raviart (Ecole Polytechnique), semi-conducteurs : S. de Vicente (Univ. Polytechnique de Madrid) et optimisation en électromagnétisme : J. Barón (Univ. de Málaga) ;
- Calcul parallèle : W. Jalby (Univ. de Rennes), M. Valero (Univ. Polytechnique de Catalogne), M. Vidrascu (INRIA).

Quatre volumes reliés rassemblaient les supports de cours. Quelques notes complémentaires ont été photocopiées et distribuées sur place.

### 5.5.2 Participants

Ce cours a réuni 86 enseignants et auditeurs issus pour la plupart du secteur universitaire. Ces derniers venaient des Universités de Barcelone (1), Complutense de Madrid (1), Cordoue (3), La Corogne (1), Grenade (1), Jaume I (18), Málaga (6), Murcie (1), Oviedo (6), Pays Basque (3), Polytechnique de Madrid (10), St-Jacques-de-Compostelle (10), Saragosse (1), Séville (6) et Valence (7), ce qui témoigne de la diversité et de la grande représentativité géographique de l'auditoire. Le niveau de cet auditoire était également très varié allant de jeunes étudiants en doctorat à des enseignants chercheurs extrêmement chevronnés.

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

### 5.5.3 Autres collaborations en cours

Cette collaboration franco-espagnole en analyse numérique et calcul scientifique est de plus en plus importante. Ses développements récents sont orientés dans deux directions :

- Accueil à Paris d'un flux régulier d'étudiants espagnols venant préparer le DEA d'Analyse Numérique puis une thèse d'Université (2 à 3 étudiants par an).
- Des collaborations bilatérales de plus en plus équilibrées qui se traduisent en particulier par :
  - des visites de courte durée (2 à 4 semaines) d'espagnols en France et de français en Espagne. Ces visites permettent de finaliser des travaux effectués en commun et publiés sous forme cosignée.
  - l'obtention d'un programme SCIENCE associant l'Université de Paris VI (Maître d'œuvre et directeur scientifique : P.G. Ciarlet), l'INRIA (coordinateur : M. Bernadou), l'Université St. Jacques de Compostelle (coordinateur : J.M. Viaño) et l'Université Technique de Lisbonne (coordinateur : L. Trabucho). Ce programme a pour thème la "Modélisation de jonctions de structures" et s'étale sur 3 ans (1991 à 1993).

### 5.6 Sixième Ecole : Séville, du 19 au 23-09-1994

L'Ecole est de retour en Andalousie, cette fois-ci à Séville où s'était tenue deux années auparavant l'emblématique et très réussie Exposition Internationale. Les organisateurs sont T. Chacón, E. Fernández Cara, D. Franco Coronil, F. Guillén et F. Ortegón. Au delà d'un programme scientifique de tout premier plan, ils restituent l'ambiance festive de l'Exposition Internationale : visite à la Mairie de Séville, Conférence générale de J.L. Lions dans la magnifique Salle des Fêtes de la Mairie, visite de la Cathédrale et de l'Alcázar, classés par l'Unesco au patrimoine mondial de l'humanité, suivie d'un diner et d'une très chaleureuse soirée de "Sevillanas". Par ailleurs, le logement des auditeurs et intervenants à la résidence Hernando Colón à proximité des amphithéâtres a donné un caractère résidentiel très apprécié à cette Ecole.

#### 5.6.1 Programme

Quatre cours de cinq heures chacun :

- Contrôle optimal de systèmes distribués : E. Casas (Univ. de Cantabria) ;
- Introduction à la méthode des éléments finis en mécanique des fluides : C. Parés (Univ. de Málaga) ;
- Contrôlabilité exacte et approchée pour des systèmes à paramètres distribués : J.L. Lions (Collège de France) ;
- Résultats fondamentaux sur les méthodes spectrales : Y. Maday (Univ. Paris VI).

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

Les deux premiers cours constituaient une introduction à des méthodes très utilisées en calcul scientifique depuis de nombreuses années et pour lesquelles de nombreuses recherches sont toujours d’actualité. Ces cours étaient destinés à de jeunes chercheurs. Les deux derniers cours ont présenté des théories récentes pour lesquelles de nombreuses recherches sont également en cours et qui commencent à susciter de nombreuses applications. Le contenu et la forme de ces quatre cours ont été extrêmement appréciés. Le format de 5 heures avec présentation essentiellement “au tableau” semble optimal, les excellentes qualités pédagogique des quatre conférenciers ne sont certainement pas étrangères à cette appréciation !

Sept conférences ont complété ce cycle de cours et ont permis d’éclairer quelques autres facettes du calcul scientifique :

- Mathématiques et milieu ambiant, Conférence générale à la Mairie de Séville : J.L. Lions (Collège de France) ;
- Estimation d’erreur a posteriori pour des problèmes elliptiques au moyen d’une méthode de dualité : L. Ferragut (Univ. Polytechnique de Madrid) ;
- Quelques questions reliées à la contrôlabilité approchée des équations de Navier-Stokes : J. Real (Univ. de Séville) ;
- Guides d’ondes électromagnétiques : D. Gómez (U. St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Théorie mathématique de la plasticité : C. Moreno (Univ. Polytechnique de Madrid) ;
- Remarques sur la modélisation numérique de la turbulence : O. Pironneau (Univ. Paris VI) ;
- Point sur l’évolution de MODULEF, suivi de quelques remarques sur les coques piézoélectriques : M. Bernadou (INRIA).

Pour l’ensemble des cours et conférences, les langues de travail ont été l’espagnol et le français. Deux volumes reliés rassemblaient la totalité des supports de cours et conférences (environ 350 pages chacun).

### 5.6.2 Participants

Ce cours a réuni 135 enseignants et auditeurs issus pour la plupart du secteur universitaire. Ces derniers venaient des Universités de Barcelone (1), Cadix (5), Cantabrique (2), Cordoue (3), La Corogne (1), Grenade (2), la Laguna (1), Las Palmas (4), Madrid Autonome (2), Madrid Complutense (7), Málaga (6), Oviedo (8), Pays Basque (1), Polytechnique de Madrid (10), St-Jacques-de-Compostelle (13), Salamanque (3), Séville (21), Vigo (5) plus une trentaine d’auditeurs dont nous n’avons pas l’affiliation, ce qui témoigne de la diversité et de la grande représentativité géographique de l’auditoire. Le niveau de cet auditoire était également très varié allant de jeunes étudiants en doctorat à des enseignants chercheurs extrêmement chevronnés.

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

### 5.6.3 Autres collaborations en cours

Outre les collaborations mentionnées dans le relevé de l'Ecole de 1992, collaborations qui se poursuivent et s'amplifient, il convient de mentionner l'obtention et le financement d'un nouveau réseau européen HCM "Mathematical Modeling and Analysis of Thin Shell Problems" qui démarrera en janvier 1995 pour 3 ans. Ce programme associe l'INRIA (P.G. Ciarlet, Directeur Scientifique et M. Bernadou), Paris 6 (H. Le Dret), Málaga (A. Valle et F. Palma), St-Jacques-de-Compostelle (J.M. Viaño), Lisbonne (L. Trabucho), Coimbra (I. Figueiredo), Pavie (F. Brezzi), Stuttgart (K. Kirchgassner), Bochum (W. Krätzig).

### 5.7 Septième Ecole : Oviedo, du 24 au 28-09-1996

Après deux cycles de trois Ecoles organisées par les pôles fondateurs St-Jacques-de-Compostelle, Málaga / Séville, Madrid / Castellón de la Plana, il a été suggéré que pour élargir l'audience de l'Ecole, celle-ci soit organisée par d'autres centres espagnols. Après Séville, c'est donc l'Université d'Oviedo et plus précisément J. Valdés, O. Menéndez, S. de Vicente, S. Meddahi et P. Pérez qui nous accueillent. Cette ville au passé très riche comporte de très beaux monuments et est parsemée de magnifiques espaces verts. Elle a réussi sa reconversion après la fermeture de ses mines. Lors de la demi-journée libre, les participants ont pu visiter l'une de ces mines désormais ouverte aux touristes : très bonne expérience ! Autre expérience inoubliable, la visite des cidreries et les dégustations qui s'ensuivent.

#### 5.7.1 Programme

Cette septième Ecole comportait quatre cours de cinq heures chacun :

- Méthodes de volumes finis : R. Eymard (LCPC, Paris) ;
- Modèles mathématiques et numériques en propagation d'ondes : P. Joly (Univ. Paris-Dauphine et INRIA) ;
- Résolution effective des équations de Navier-Stokes par des méthodes d'éléments finis : R. Echevarría (Univ. de Séville) ;
- Simulation et résolution numérique de problèmes de frontière libre : J. Durany, P. Quintela, C. Vazquez (Univ. de Vigo, St.-Jacques-de-Compostelle et La Corogne).

L'ensemble des conférenciers s'est attaché à souligner les développements récents de sa discipline tout en adoptant une présentation claire et précise des résultats de base ce qui a permis aux plus jeunes auditeurs d'avoir une bonne vue de l'ensemble de chacun des sujets. Dans les deux derniers cours, les conférenciers ont en outre insisté sur la mise en œuvre numérique effective des méthodes.

Six conférences, à caractère académique ou industriel, ont complété ce cycle de cours et ont permis d'éclairer quelques autres facettes du calcul scientifique :

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Introduction à la théorie de la commande optimale H-infini : P. Bernhard (INRIA Sophia-Antipolis);
- Résultats récents et problèmes ouverts sur les fluides visco-élastiques : J.C. Saut (Univ. Paris-Sud);
- Couplage d'éléments finis et d'éléments de frontière : S. Meddahi (Univ. de Oviedo);
- Equations différentielles et traitement d'images : L. Alvarez (Univ. de Las Palmas);
- Application de la technique de décomposition de domaine au calcul de plateformes pétrolières : M. Bernadou (Univ. Léonard de Vinci et INRIA);
- Simulation de problèmes de structures industrielles avec méthodes numériques : A. Santos (TGI SA).

Trois volumes reliés rassemblaient la totalité des supports de cours et conférences (environ 920 pages) ce qui a beaucoup été apprécié par les auditeurs.

### 5.7.2 Participants

Ce cours a réuni 113 enseignants et auditeurs issus pour la plupart du secteur universitaire. Ces derniers venaient des Universités de Cadix (3), Cantabrique (1), Castille-La Mancha (1), Complutense de Madrid (1), Cordoue (3), La Corogne (2), Grenade (1), Las Palmas (1), Léon (1), Málaga (4), Oviedo (26), Polytechnique de Madrid (11), St-Jacques-de-Compostelle (8), Salamanque (8), Saragosse (4), Séville (18), UNED (1), Valladolid (6) et Vigo (7), de 5 français et une portugaise ce qui témoigne de la diversité et de la grande représentativité géographique de l'auditoire. Le niveau de cet auditoire était également très varié allant de jeunes étudiants en doctorat à des enseignants chercheurs extrêmement chevronnés.

## 5.8 Huitième Ecole : Cordoue, du 21 au 25-09-1998

Retour au sud pour une autre facette de l'Andalousie : Cordoue dont le centre historique à la croisée de plusieurs cultures est classé par l'UNESCO Patrimoine Mondial de l'Humanité. Bien sûr, les organisateurs J.L. Cruz, M. Marín, M.C. Calzada, J.R. Galo et J.A. Herencia ont inscrit ces visites dans le programme "social" de l'Ecole; ils y ont même ajouté un concert de cordes, un "Perol" sur les hauteurs de Cordoue et le banquet. Le tout sans négliger le programme scientifique au meilleur niveau et très complet.

Cette Ecole s'est déroulée aux "Colegios Mayores de la Universidad de Córdoba" ce qui assurait l'unité de lieu (logement, restauration et salle de conférences) dans un environnement confortable très apprécié par l'ensemble des participants.

### 5.8.1 Programme

Cette huitième Ecole comportait quatre cours de quatre heures chacun :

---

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Problèmes de vibrations pour divers types de couplages fluides-structures : A. Bermúdez de Castro (St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Méthodes des domaines fictifs avec multiplicateurs sur la frontière et multiplicateurs distribués et applications : V. Girault et R. Glowinski (Univ. de Paris VI et Houston) ;
- Equilibre, transport et stabilité d'un plasma : J. Blum (Univ. de Grenoble) ;
- Fluides non newtoniens : F. Guillén (Univ. de Séville).

Pour chacune des interventions, les conférenciers se sont attachés à présenter l'origine physique ou mécanique des problèmes considérés, leur modélisation en termes d'équations aux dérivées partielles, leur formulation mathématique, leur approche numérique et quelques applications concrètes. Par ailleurs, le second cours présentait les bases théoriques et les dernières avancées de la méthode des domaines fictifs qui permet, pour des problèmes formulés sur des domaines de géométrie complexe, d'en approcher les solutions en utilisant sur un domaine plus grand et régulier (rectangle, parallélogramme rectangle) un maillage structuré combiné à un maillage assez grossier de la frontière du domaine initial.

Dix conférences ont complété ce cycle de cours et ont éclairé quelques autres applications récentes de la simulation numérique :

- Application de la méthode des domaines fictifs à la résolution de problèmes de Stokes : V. Girault (Univ. Paris VI) ;
- Etude du phénomène de courant océanique "El Niño" au moyen d'un modèle couplé hybride océan / atmosphère : J. Macías (Univ. de Málaga) ;
- Modélisation asymptotique de lacs : J. Simon (Univ. de Clermont-Ferrand) ;
- Application des filtres de Kalman à l'estimation de paramètres dans un haut-fourneau : O. Menéndez (Univ. de Oviedo) ;
- Résolution numérique des équations de Navier-Stokes au moyen de méthodes mixtes augmentées : T. Chacón (Univ. de Séville) ;
- Contrôlabilité d'équations des ondes et d'équations paraboliques et leurs versions discrètes : E. Zuazua (Univ. Complutense de Madrid) ;
- Application de la méthode des domaines fictifs à des problèmes de sédimentation : R. Glowinski (Univ. de Paris VI et Houston) ;
- Optimisation non convexe à l'aide d'algorithmes génétiques : théorie et applications à des problèmes d'optimisation de forme et de contrôle multidisciplinaire / multi-critères en CFD (Computational Fluids Dynamics) et CEM (Computational ElectroMagnétism) : J. Périaux (Avions Marcel Dassault) ;
- Méthodes de volumes finis pour la simulation de processus de transports dans la géosphère : A. López (Univ. Polytechnique de Madrid) ;
- Le 16ème problème de Hilbert : état d'avancement : J. Chavarriga (Univ. de Lleida).

Deux volumes reliés rassemblent la totalité des supports de cours et de conférences (environ 550 pages) ce qui est beaucoup apprécié par les auditeurs et aide ceux

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

d’entre eux qui ne maîtrisent pas complètement les langues française et espagnole.

### 5.8.2 Participants

Cette Ecole a réuni 128 enseignants et auditeurs issus pour la plupart du secteur universitaire. Ces derniers venaient des Universités de Burgos (2), Cadix (9), Cantabrique (2), Castille-La Mancha (2), Cordoue (14), La Corogne (4), Lleida (1), Madrid (1 de l’Autonome, 5 de Complutense, 6 de Polytechnique), Málaga (8), Murcie (1), Oviedo (11), St.-Jacques-de-Compostelle (12), Séville (28), Valence (1), Valladolid (2), Vigo (5), Saragosse (3) côté espagnol et côté français Clermont-Ferrand (1), Grenoble (1), Paris (4), Pau (2), Perpignan (1) ainsi que Lisbonne (2) côté portugais. Cette répartition a confirmé l’élargissement de l’auditoire en Espagne mais aussi, dans une moindre mesure, à la France et au Portugal.

Le niveau scientifique de l’auditoire allait de jeunes étudiants de doctorat à des chercheurs extrêmement chevronnés de stature internationale pour une vingtaine d’entre eux.

### 5.9 Neuvième Ecole : Laredo (Cantabrique), du 18 au 22-09-2000

Cap au nord dans la ville de Laredo qui combine une immense plage de sable fin et un centre historique réputé. Les organisateurs de l’Ecole, E. Casas, L.A. Fernández, E. Moyano, C. Pola et J. Puig-Pey de l’Université Cantabrique de Santander nous accueillent au siège de “Los Cursos de Verano de la Universidad de Cantabria” à environ 50 km à l’est de Santander. Au delà du riche programme scientifique que nous rappelons ci-dessous, visite au Parc Naturel de Cabárceno, démonstration en vol libre d’oiseaux de proie (très impressionnant) et banquet au Centre Nautique de Laredo.

#### 5.9.1 Programme

Quatre cours de cinq heures chacun :

- Méthodes d’éléments finis pour les problèmes de mécanique des fluides : R. Codina (Univ. Polytechnique de Catalogne) - Cours panoramique sur un des sujets “classiques” mais toujours de grande actualité de la Simulation Numérique ;
- Les méthodes ondelettes : de l’analyse à la simulation : A. Cohen (Univ. Pierre et Marie Curie, Paris) - Cours prospectif sur l’une des nouvelles disciplines qui s’est beaucoup développée au cours de la dernière décennie. Cette discipline conduit à d’importantes applications tant en simulation numérique qu’en traitement du signal et de l’image ;
- Modélisation numérique de structures en grandes déformations : P. Le Tallec (Ecole Polytechnique, Palaiseau et INRIA) - Cours panoramique sur la modélisation et l’approche numérique des principaux problèmes non linéaires apparaissant

---

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

sant en mécanique du solide : élasticité non linéaire, postflambage, thermoviscoélasticité, contact, comportement non linéaire de polymères et de caoutchouc synthétique, applications en biomécanique. Pour la partie numérique, les apports des méthodes d’éléments finis mixtes, des estimations d’erreur a posteriori et des techniques de décomposition de domaines ont été discutés ;

· Méthodes d’éléments de frontière : F.J. Sayas (Univ. de Saragosse) - Cours introductif à la technique consistant à reformuler un problème aux limites sous la forme d’une équation intégrale sur la frontière du domaine puis à l’approche numérique de cette équation intégrale. Des applications à des problèmes de potentiel intérieur/extérieur, aux équations d’Helmholtz, à l’élasticité et à d’autres problèmes moins classiques ont été présentées.

Cinq conférences ont complété ce cycle de cours et permis d’éclairer d’autres résultats récents du Calcul Scientifique :

· Simulation numérique et visualisation des données et des résultats pour la propagation d’un feu de forêt dans le Bassin de l’Ebre : L. Ferragut (Univ. de Salamanca) ;

· Modélisation numérique en chimie quantique : C. Le Bris (CERMICS, ENPC Paris) ;

· Calcul parallèle pour la résolution d’équations aux dérivées partielles : J.L. Cruz (Univ. de Cordoue) ;

· Couplage “Eléments finis/Eléments frontières” pour la résolution de problèmes de Stokes dans le plan : S. Meddahi (Univ. d’Oviedo) ;

· Modélisation numérique de problèmes d’environnement dans le Déroit de Gibraltar : C. Parés (Univ. de Málaga).

Tant pour les cours que pour les conférences, il convient de souligner les excellentes qualités scientifiques et pédagogiques de l’ensemble des conférenciers. Un volume rassemblant les supports de cours et de conférences (environ 400 pages) a facilité le travail des auditeurs.

### 5.9.2 Participants

Cette Ecole a réuni 81 enseignants et auditeurs issus pour l’essentiel des milieux universitaires (Universités Cantabrique (8), de Cordoue (3), Málaga (5), Oviedo (10), St.-Jacques-de-Compostelle (11), Salamanca (7), Saragosse (3), Séville (6), Valence (2), Valladolid (2), Vigo (4), 5 des Universités de Madrid, 5 des Universités de Catalogne et 9 divers) et de niveau scientifique doctoral, postdoctoral ou chercheur confirmé. Cet auditoire témoigne de sa grande représentativité géographique en Espagne ; il est à noter qu’une proportion importante des auditeurs chevronnés entretient des collaborations régulières avec la France.

La participation à cette Ecole est un peu en retrait par rapport aux deux Ecoles précédentes : cela est essentiellement dû au grand nombre de Colloques et de Congrès en Mathématiques Appliquées tenus en Espagne pendant cette année

---

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

2000 classée Année Mondiale des Mathématiques.

### 5.10 Dixième Ecole : Jaca (Aragon), du 23 au 27-09-2002

L’organisation de cette dixième Ecole par nos collègues de Saragosse, F. Lisbona, F.J. Sayas, R. Celorrio, C. Clavero et F. Gaspar dans la ville de Jaca nous conduit pour la première fois au cœur des Pyrénées espagnoles. La candidature de cette ville touristique à l’organisation des Jeux Olympiques d’hiver 2010 témoigne de la qualité de son environnement montagneux que nous avons pu apprécier lors de la demi-journée d’excursion. Par ailleurs la ville elle-même comporte un grand nombre de richesses architecturales, notamment la Cathédrale de style roman, le “Castillo de San Pedro” et la Mairie.

L’Ecole s’est déroulée à la Résidence Universitaire de Jaca avec logement et repas sur place ce qui favorisait les discussions et les rencontres.

#### 5.10.1 Programme

Quatre cours de cinq heures chacun :

- Modèles numériques pour les fluides hydrodynamiques : T. Chacón (Univ. de Séville) - Présentation des problématiques de différents types de modèles mathématiques, de leur analyse mathématique et de l’approximation de leurs solutions et de quelques exemples de simulations numériques de problèmes concrets ;
- Problèmes d’évolution parabolique : M. Crouzeix (Univ. de Rennes I) - Présentation d’une synthèse des méthodes d’analyse mathématique et d’approche numérique actuellement disponibles pour aborder au mieux la simulation numérique des problèmes ;
- Schémas d’approche haute résolution d’ondes de choc pour des lois de conservation hyperbolique : R. Donat (Univ. de Valence) - Présentation d’une large synthèse de méthodes mathématiques et numériques récentes pour modéliser des problèmes de type propagation d’ondes, discontinuité de contacts, chocs, raréfaction ;
- Quelques résultats nouveaux et quelques challenges actuels dans l’analyse éléments finis de problèmes de coques : D. Chapelle (INRIA, Rocquencourt)-Synthèse des résultats mathématiques et numériques les plus récents avec pour premier souci de combiner la qualité des modèles mathématiques avec l’efficacité et la fiabilité de l’approche numérique.

Cinq conférences d’une heure chacune ont permis d’éclairer des sujets spécifiques :

- Modélisation de la houle en ingénierie côtière : I. Losada (Univ. de Santander) ;
- Méthodes itératives pour la résolution de grands systèmes linéaires à matrice creuse : G. Meurant (CEA Bruyères-le-Châtel) ;
- Méthodes numériques pour les problèmes de valorisation d’options : C. Moreno (Univ. Polytechnique de Madrid) ;

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Application de la méthode des volumes finis et de schémas de type Godunov aux équations d’eaux peu profondes : E. Vázquez (U. St.-Jacques-de-Compostelle) ;
- Approximations par éléments finis de problèmes coercifs non elliptiques : J.M. Thomas (Univ. de Pau).

En outre, il a été organisé une session spéciale :

- Quelques applications des outils mathématiques et des méthodes numériques en bioingénierie : l’extension des méthodes de simulation numérique aux milieux vivants s’est longtemps heurtée à la complexité des modèles (les milieux concernés sont très inhomogènes, anisotropes et relèvent de modèles fortement couplés) et conduisait à des problèmes numériques de trop grande dimension. Les énormes progrès réalisés tant dans la modélisation des phénomènes couplés que dans la combinaison “algorithmique numérique/performances informatiques - calcul parallèle” permet maintenant d’aborder de manière crédible d’importants domaines de bioingénierie. Cette session a permis d’aborder trois d’entre eux :
  - Traitement de signal biomédical dans le diagnostic et monitoring de pathologies : P. Carminal (UPC de Barcelone) ;
  - Adaptation en mécanique osseuse : S. Ramtani (Univ. Paris Val de Marne) ;
  - Quelques applications de méthodes d’éléments finis à la modélisation de tissus vivants et de conception d’implants : M. Doblaré (Univ. de Saragosse).

Un volume a rassemblé les supports de cours, auquel se sont ajoutés deux tirés à part (les transparents de J.M. Thomas et les résumés de la session spéciale de bioingénierie).

### 5.10.2 Participants

Cette Ecole a réuni 78 auditeurs et intervenants issus pour l’essentiel du secteur universitaire espagnol. Plus précisément, ces derniers venaient des Universités d’Alicante (1), Barcelone (1), Cantabrique (3), Carthagène (1), Cordoue (3), La Corogne (6), Navarre (2), Oviedo (2), St.-Jacques-de-Compostelle (8, dont 1 de Lugo), Salamanque (4), Saragosse (13, dont 1 de Huesca), Séville (7), Valence (8), Valladolid (1), Vigo (1 de Pontevedra), 5 des Universités de Madrid et, côté français, du CEA (1), de l’INRIA (1), des Universités de Pau (2), Rennes (1) et du Pôle Universitaire Léonard de Vinci (1). Cette répartition témoigne de la diversité et d’une grande représentativité géographique de l’auditoire. Le nombre d’auditeurs est toujours élevé malgré une localisation peu facile d’accès et de la date un peu tardive de l’Ecole, très proche d’un grand nombre de rentrées universitaires.

Le niveau de cet auditoire était très varié, allant de doctorants à un mélange d’enseignants-chercheurs jeunes ou chevronnés. Un tiers d’entre eux au moins a personnellement participé à des collaborations avec les équipes françaises (Paris VI, INRIA, Ecole Polytechnique, Ecole Centrale, Universités de Pau et de Rennes).

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

### 5.10.3 Autres collaborations en cours

De nombreuses collaborations sont en place, notamment des co-encadrements de thèses, la participation à des contrats communs, des partenariats à l'intérieur de Réseaux Européens : le projet "Smart Systems" vient d'être financé par la Communauté Européenne et se déroulera sur la période 2003/2006. L'INRIA, l'ESIEE, le Pôle Universitaire Léonard de Vinci en sont membres côté français, l'Université de St.-Jacques-de-Compostelle, du côté espagnol.

### 5.11 Onzième Ecole : Cadix, du 20 au 24-09-2004

Sur proposition de A. Valle de l'Université de Málaga et à l'initiative de la SEMA (Sociedad Española de Matemática Aplicada), cette Ecole est désormais appelée "Escuela Jacques-Louis Lions Hispano-Francesa sobre Simulación Numérica en Física e ingeniería". Ce faisant, la SEMA souhaite honorer la mémoire de Jacques-Louis Lions, décédé en 2001, qui, avec ses exceptionnelles qualités scientifiques et humaines, s'est énormément impliqué dans la mise en place de collaborations nombreuses et fructueuses entre la plupart des groupes de simulation numérique espagnols et français.

Cette onzième Ecole a été organisée à Cadix par F. Ortegón et ses collaborateurs J.M. Díaz, R. Rodriguez, M.V. Redondo, C. García et M.T. González. Outre la partie scientifique de l'Ecole, une excursion à Jerez de la Frontera a permis de visiter une cave de vin de Jerez, d'assister au spectacle de dressage de la célèbre "Real Escuela Ecuestre" et de visiter le "Museo Taurino"; par ailleurs, le dîner au Parador Atlántico a permis de déguster les spécialités locales. Le format général de cette Ecole est analogue à celui des quatre ou cinq dernières : quatre cours d'environ 4 heures chacun permettant de présenter de manière détaillée les enjeux et les résultats les plus significatifs de quatre disciplines d'actualité en simulation numérique et six conférences faisant plus succinctement le point sur d'autres sujets d'actualité.

#### 5.11.1 Programme

Quatre cours ont été effectués :

- Modèles mathématiques pour les procédés industriels : A. Bermúdez de Castro (Univ. de St.-Jacques-de-Compostelle) - Ce cours s'est appuyé sur deux exemples concrets : la combustion dans une centrale thermique et la réduction du bruit dans les enceintes fermées par des techniques "anti-bruit".
- Génération de maillages tridimensionnels : P.L. George (INRIA Rocquencourt)
- Présentation des principales méthodes de maillages tridimensionnels permettant de répondre de manière fiable et efficace aux besoins industriels, tout particulièrement en terme de rapidité et de taille de maillage tridimensionnel.

---

ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Agir pour l’environnement : réflexions générales et analyse mathématique de deux problèmes concrets : J.I. Díaz (Univ. Complutense de Madrid et Académie des Sciences) - Conséquences de la révolution industrielle sur l’évolution des climats et illustration par quelques exemples qui conduisent à des études de contrôlabilité.
  - Problèmes mathématiques et numériques posés par la sécurité des déchets nucléaires : O. Pironneau (Univ. Pierre et Marie Curie et Académie des Sciences) - Présentation d’outils mathématiques appropriés : développements multi-échelles, méthodes de décomposition de domaines et d’homogénéisation et méthodes numériques correspondantes.
- Ces cours ont été complétés par les conférences suivantes :
- Schémas numériques à deux grilles pour les équations de Navier-Stokes : V. Girault (Univ. P. et M. Curie) ;
  - Calcul parallèle pour la résolution numérique des équations de Navier-Stokes : E. Fernández Cara (Univ. de Séville) ;
  - Résolution numérique des équations d’eaux bicouches peu profondes au moyen de schémas de volumes finis : M.J. Castro (Univ. de Málaga) ;
  - Schémas de volumes finis et théorème de Lax : B. Desprès (Univ. P. et M. Curie) ;
  - Simulation de procédés. Usine “virtuelle” : A. Montosa (Airbus Espagne) ;
  - Modèles mathématiques pour le traitement d’images : J.M. Mazón (Univ. de Valence).
- Enfin, trois sessions de posters ont permis aux plus jeunes de présenter leurs premiers résultats.
- L’ensemble des supports de cours a été réuni dans un volume de très bonne facture. Ce volume et son contenu ont été répertoriés dans “Mathematical Reviews” sous la référence MR2117095 (2005h :00013) 00B15.

### 5.11.2 Participants

Cette Ecole a réuni 84 auditeurs et intervenants issus pour l’essentiel du secteur universitaire espagnol, doctorants, enseignants-chercheurs jeunes ou chevronnés. Ces auditeurs provenaient des Universités de Cadix (13), Cantabrique (1), Cordoue (4), La Corogne (5), Madrid (3, dont un de l’Autonome, un de Carlos III et un de Complutense), Málaga (10), Navarre (3), Oviedo (2), St.-Jacques-de-Compostelle (10), Saragosse (1), Séville (17), Valence (1), Valladolid (1), Vigo (3) ; d’AIRBUS Espagne (1) ; de l’INRIA (2) et de l’Université P. et M. Curie (3) ; des Universités de Campinas au Brésil (1), de l’Université Autonome de Mexico (1) et de l’Université de Tetuán (2).

## 5.12 Douzième Ecole : Castro Urdiales, du 18 au 22-09-2006

Cette année 2006 a été exceptionnelle pour la communauté mathématique espagnole car l'Espagne a organisé en août le Congrès général de l'Union Mathématique Internationale. Il s'agit là du Congrès majeur des Mathématiciens qui se tient tous les quatre ans et au cours duquel sont notamment décernées les Médailles Fields. Outre le Congrès général, un grand nombre de rencontres, groupes de travail, séminaires ont été organisés sur des thèmes ciblés afin de rassembler les spécialistes d'une même discipline. L'ensemble de ces manifestations, à commencer par le Congrès général, ont connu un très vif succès tant par la qualité des échanges que par une organisation matérielle remarquable.

L'organisation de la douzième Ecole à Castro Urdiales moins d'un mois après le Congrès de l'UMI et de ses manifestations associées relevait du défi. L'Ecole a connu de ce fait une baisse sensible du nombre d'auditeurs mais la qualité de l'organisation et la chaleur de l'accueil en ont fait une manifestation très réussie et très appréciée.

Rappelons que cette Ecole était organisée par l'Université du Pays Basque à Bilbao sous la responsabilité de L. Vega, M. Escobedo et M. Lezaun assistés de L. Alberto Fernández de l'Université Cantabrique à Santander. L'Ecole s'est tenue dans la cité balnéaire de Castro Urdiales à environ 40 km à l'ouest de Bilbao, plus précisément au tout nouveau "Centro Internacional de Estudios Matemáticas" installé dans une superbe résidence parfaitement restaurée et très fonctionnelle. Au delà des activités scientifiques, les organisateurs avaient réservé une demi-journée pour nous faire découvrir le "Punte Colgante de Portugaleta" qui, depuis plus de cent ans, assure remarquablement le transfert de véhicules et de piétons d'une rive à l'autre de la baie. Puis ils nous ont conduit au célèbre et déjà incontournable "Museo Guggenheim" de Bilbao dont l'architecture audacieuse a fortement contribué à la renaissance d'une ville marquée par des restructurations industrielles délicates.

### 5.12.1 Programme

Cette Ecole comportait quatre cours de trois heures chacun :

- Intégration géométrique (Analyse Numérique) : J. Sanz Serna (Univ. de Valladolid) ;
- Optimisation de forme et de topologie : G. Allaire (Ecole Polytechnique, Paris) ;
- Modèles et algorithmes pour les problèmes de localisation et chemins (Recherche Opérationnelle) : E. Fernández Aréizaga (Univ. Politècnica de Catalunya) ;
- Une introduction à la modélisation mathématique d'écoulement biphases dispersés : P. Villedieu (ONERA, Univ. Paul Sabatier, Toulouse).

Huit conférences d'une heure ont permis de faire le point sur quelques sujets d'actualité :

---

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

---

- Estimations d’erreur pour l’approximation numérique de problèmes de contrôle gouvernés par des EDPs : M. Mateos (Univ. d’Oviedo).
  - Analyse mathématique et simulation numérique des essais de flexion trois points pour des matériaux céramiques : P. Quintela (Univ. Santiago de Compostela).
  - De la Mécanique à la Biologie par des procédés de fragmentation : état de l’art et problèmes ouverts : J. Soler (Univ. de Granada).
  - ‘Blow-up’ et problèmes paraboliques mal posés : A. Rodríguez Bernal (Univ. Complutense de Madrid).
  - Equations avec solitons : synergie entre l’étude analytique et la simulation : A. Sánchez (Univ. Carlos III de Madrid).
  - Préservation des invariants par des méthodes Runge-Kutta : L. Rández (Univ. de Saragosse).
  - Méthodes de bases réduites pour l’approximation fiable de la solution des problèmes non linéaires : Y. Maday (Univ. P. et M. Curie, Paris).
  - Simulation numérique de l’interaction sang-vaisseaux dans les larges artères : M. Fernández (INRIA Rocquencourt).
- Pour tous les cours et conférences, les intervenants ont mis à disposition des supports (papier et électronique), très directement reliés au contenu de leur présentation et comportant une bibliographie très complète et à jour sur les sujets abordés.

### 5.12.2 Participants

Les auditeurs de l’Ecole provenaient des Universités Cantabrique (1), de Castille-La Mancha (1), Cordoue (2), La Corogne (3), Grenade (1), Madrid (3, dont deux de Carlos III et un de Complutense), Oviedo (2), Pays Basque (14), Polytechnique de Catalogne (1), St.-Jacques-de-Compostelle (4), Saragosse (2), Séville (4), Valladolid (1), Vigo (1); du Consejo Superior de Investigaciones Científicas (1); de l’Ecole Polytechnique de Palaiseau (1), de l’Université P. et M. Curie (1), de l’INRIA Rocquencourt (1), de l’ONERA et Université Paul Sabatier (1) et de l’Ecole Supérieure d’Ingénieurs Léonard de Vinci (1).

Le niveau de cet auditoire était très varié, allant de doctorants à un mélange d’enseignants-chercheurs jeunes ou chevronnés. Un tiers d’entre eux au moins a personnellement participé à des collaborations avec les équipes françaises (Paris VI, INRIA, Ecole Polytechnique, Université Paul Sabatier).

### 5.12.3 Conclusions

La participation, à cette Ecole, des Professeurs J.I. Montijano et C. Vázquez, respectivement Président sortant et nouveau Président de la SEMA, d’une part, des Professeurs Y. Maday et G. Allaire, respectivement Présidents de la SMAI et du Gamni/SMAI (Groupe pour l’Avancement des Méthodes Numériques de l’Ingénieur), ont permis de discuter du futur de cette manifestation.

## ÉCOLES HISPANO-FRANCAISES JACQUES-LOUIS LIONS

A compter de 2008, cette Ecole est coorganisée par la SEMA côté espagnol et par la SMAI, côté français, ce qui introduit une meilleure symétrie et en accroît la visibilité. Cette Ecole de 2008 est organisée localement par l’Université de Valladolid.

### 5.13 Treizième Ecole : Valladolid, du 15 au 19 septembre 2008

Toutes les informations concernant cette Ecole peuvent être consultées sur la page web “<http://www.uva.es/ehf2008>”.

**XIII Ecole Jacques-Louis Lions**  
**Franco-Espagne**  
sur la  
**Simulation Numérique**  
en  
**Physique et Ingénierie**



Valladolid  
15-19 septembre 2008





#### Organisation

Responsables de l’organisation

Maria Paz Calvo, *Universidad de Valladolid*  
Denis Talay, *INRIA - Sophia Antipolis*  
Carlos Vázquez-Cendón, *Universidad de Coruña*

Comité Scientifique

Michel Bernadou, *INRIA et Poly. Universitaire*  
*Leonard de Vinci, Paris*  
Rosa Donat, *Universidad de Valencia*  
Maria J. Esteban, *Université Paris-Dauphine*  
Enrique Fernández-Cara, *Universidad de Sevilla*  
Mikel Lezaun, *Euskal Herriko Unibertsitatea*  
César Palencia, *Universidad de Valladolid*

Comité Organisateur Local

Luis M. Abia  
Istias Alonso  
Maria Paz Calvo  
Eduardo Cuesta  
Angel Duran  
Fco. Javier de Frutos  
Cesáreo J. González  
Miguel A. Revilla

#### Avec la collaboration de

- Universidad de Valladolid
- SEMA (Sociedad Española de Matemática Aplicada)
- SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles)
- Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León
- Proyecto Ingeniería Matemática
- Ministerio de Educación y Ciencia

#### Inscription

L’inscription se fera à travers la page web de l’Ecole <http://www.uva.es/ehf2008>, suivant les instructions données sur le site.

Tarifs d’inscription

|                     | Avant le<br>31/05/08 | Après le<br>01/06/08 |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| Membre<br>SeMA/SMAI | 250 €                | 280 €                |
| Tarif normal        | 280 €                | 310 €                |
| Accompagnateur      | 70 €                 | 90 €                 |

Le tarif d’inscription inclut la documentation, la participation au programme scientifique de l’Ecole, un certificat d’assistance, les déjeuners et les actes sociaux (dîner de l’Ecole et une excursion); les élèves qui présentent un poster recevront également un certificat pour cela.

Le tarif accompagnateur autorise exclusivement à assister aux actes sociaux.

Si une demande de bourse a été faite... il ne faut pas envoyer le formulaire d’inscription avant de recevoir la réponse positive ou négative concernant l’attribution de la bourse.

#### Plus d’information

Toutes les informations concernant l’Ecole peuvent être consultées sur la page web <http://www.uva.es/ehf2008>, ou se trouvent aussi des indications pour se rendre à Valladolid.

Pour toute information supplémentaire, envoyez un email aux organisateurs, à l’adresse [ehf2008@uva.es](mailto:ehf2008@uva.es).

## Modélisation mathématique en biologie et en médecine

### Un état des lieux de la recherche en France à travers les équipes du GdR MABEM

*par* Violaine Louvet<sup>1</sup>

La modélisation mathématique en biologie et en médecine est en plein essor depuis quelques années. De plus en plus d'équipes de mathématiciens purs et appliqués s'intéressent à ces problématiques, et de façon symétrique, de plus en plus de biologistes et de médecins ressentent le besoin d'une telle approche et font appels à des techniques mathématiques et informatiques pour attaquer les problèmes de complexité accrue auxquels ils sont confrontés. L'objectif de cet article est de faire un état des lieux forcément non exhaustif des différentes recherches menées dans ce domaine, en s'appuyant sur les équipes membres du GdR MABEM (<http://gdr-mabem.math.cnrs.fr/>), dont le but est de fédérer les équipes de mathématiciens, modélisateurs, pharmacologues, biologistes et médecins intéressés par une telle approche.

Le thème central du GdR est la modélisation mathématique et le calcul de systèmes biologiques et médicaux, et plus précisément le développement de nouveaux systèmes d'équations (aux dérivées partielles ou ordinaires principalement) pour l'étude de mécanismes biologiques ou de pathologies et leur simulation numérique effective, en vue d'applications biologiques ou médicales.

Le travail des différentes équipes prenant part au GdR est issu de ce thème, sur des variations très diverses. Nous vous proposons d'en présenter quelques unes de façon globale, les détails pouvant être obtenus directement auprès des intéressés.

Cet état des lieux de la modélisation mathématique en biologie et en médecine comprend de nombreux travaux. Cet article fait suite à un premier document paru dans le précédent numéro de MATAPLI.

### Sommaire de la Partie II

- 1. Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble
- 2. Laboratoire de Mathématiques, Université de Chambéry
- 3. Laboratoire de Spectrométrie Physique, Université de Grenoble
- 4. Laboratoire de Mathématique Appliquée, Université du Havre
- 5. Institut Camille Jordan, Université Lyon 1
- 6. MAP5, Université Paris 5
- 7. Institut de Recherche Interdisciplinaire, Université de Lille
- 8. LATP, Université d'Aix-Marseille III
- 9. Projet MITOSCOPI, Bordeaux INSERM
- 10. Laboratoire Jean Leray, Université de Nantes
- 11. Laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice-Sophia Antipolis
- 12. IMTh : ENS Lyon et Institut Camille Jordan
- 13. Laboratoire de Mathématiques, Université de Paris Sud

<sup>1</sup>Institut Camille Jordan, CNRS et Université Lyon 1

---

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

- 14. Projet Reo
- 15. Projet Sisyphe
- 16. IMT et CRCA, Toulouse
- 17. Projet MC2, Bordeaux
- 18. Equipe Combinatoire et Optimisation, Université PM Curie

## 1 Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble

**Auteur** Georges-Henri Cottet [Georges-Henri.Cottet@imag.fr](mailto:Georges-Henri.Cottet@imag.fr),  
Emmanuel Maitre [Emmanuel.Maitre@imag.fr](mailto:Emmanuel.Maitre@imag.fr)  
et Vuk Milisic [vuk.milisic@imag.fr](mailto:vuk.milisic@imag.fr)  
**Equipe** : Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble -  
<http://www-ljk.imag.fr/ljk.html>

Les Sciences du Vivant constituent un domaine d’applications qui irrigue largement le LJK puisqu’elles concernent directement 9 de nos 14 équipes. Les disciplines impliquées vont de la statistique à la géométrie en passant par les EDP et les systèmes dynamiques. Nous nous concentrons sur quelques exemples dans le domaine de la médecine ou des biomathématiques. En particulier nos activités en biostatistique ne sont pas couvertes ici et les lecteurs intéressés pourront se reporter à <http://ljk.imag.fr/DossiersduLJK/SDV/> pour un panorama plus complet et des liens vers les différents projets concernés. Sauf mention contraire, les adresses électroniques des contacts mentionnés sont “Prenom.Nom@imag.fr”.

### 1.1 Biologie systémique

Il s’agit ici de la modélisation déterministe des processus biologiques et de leur contrôle. Les outils de base sont les systèmes dynamiques et des systèmes hybrides, où les champs sont constants par morceaux. Les aspects de modélisation sont traités parallèlement au développement d’outils algorithmique pour la simulation et l’analyse des systèmes qui sont aussi utilisés pour d’autres applications. Les activités touchent essentiellement à deux domaines décrits dans la suite.

**Modélisation de la régulation génétique - contact : Aude Maignan** Les réseaux génétiques sont représentés par des systèmes booléens ou des systèmes hybrides. Dans la modélisation booléenne, chaque variable du système détermine si un gène est exprimé ou non, la valeur d’une variable est déterminée par une fonction d’activation dépendant des autres variables. L’évolution du système peut se faire de manière synchrone (toutes les variables sont mises à jour simultanément) ou asynchrone (les variables sont mises à jour les unes après les autres, de manière non-déterministe). La modélisation hybride attribue également une variable booléenne d’activation pour chaque gène ; des variables continues, représentant les concentrations de diverses protéines dans la cellule, sont ajoutées au modèle. Les variables continues évoluent suivant une équation différentielle déterminée par les gènes exprimés ; en retour, lorsque la concentration d’une protéine régulatrice franchit un certain seuil, les variables booléennes d’expression des gènes sont mises à jour. Dans ce cadre, nous avons proposé une modélisation hybride de l’opéron lactose qui est plus simple à comprendre et à analyser que le modèle continu tout en gardant des aspects qualitatifs représentatifs.

**Modélisation du neurone - contact : Arnaud Tonnelier** Ce sont plus particulièrement les modèles dits impulsifs qui sont étudiés ici, d'un point de vue théorique, avec des questions liées par exemple à l'excitabilité, la synchronisation et l'existence de cycles limites pour des neurones isolés ou en réseaux.

## 1.2 Bio-mécanique

**Dynamique cellulaire - contact : Emmanuel Maitre** Notre activité concerne le développement d'outils de calcul permettant de prendre en compte le couplage de modèles mécaniques, élastiques, rigides et fluides, avec des systèmes de réaction-diffusion. L'approche suivie dans notre équipe a été de choisir un cadre eulérien pour la modélisation. Les composants élastiques du modèle sont traités comme une phase du fluide et les interfaces sont capturées par méthode level-set. Cette approche permet des simulations 3D dans des temps de calcul réduits, la prise en compte de grandes déformations dans les cellules et le couplage simple avec des modèles de réaction-diffusion régissant les équilibres biochimiques. Les méthodes développées ont été appliquées à deux types de situations : la contraction d'un cardiomyocyte et le calcul des formes d'équilibre des vésicules biologiques. Dans le premier cas, la contraction d'un milieu élastique incompressible est couplée à la concentration de calcium, elle-même soumise à un système de réaction-diffusion. Dans le deuxième cas, les formes d'équilibre sont obtenues comme asymptotique d'une dynamique incompressible générée par des forces de courbure. Les contraintes de conservation de volume et d'aire sont prises en compte respectivement par l'incompressibilité du modèle et par des forces d'élasticité membranaire avec des coefficients de raideur élevés. Ces travaux sont menés en collaboration avec des physiciens et biologistes Grenoblois des laboratoires LSP et TIMC.

**Le muscle du myocarde et les écoulements sanguins - contact : Vuk Milisic** On s'intéresse ici aux propriétés géométriques et à la rhéologie du muscle cardiaque. Le point de vue choisi est macroscopique mais la volonté d'inclure des effets à l'échelle de la cellule a motivé la dérivation et l'implémentation d'une loi de comportement homogénéisée. Un code d'éléments finis 3D a été développé en grandes déformations à partir de la librairie *Continu* de Modulf. Ce travail est mené en collaboration avec le laboratoire TIMC de Grenoble et le laboratoire MAP5 de Paris V (voir aussi la contribution de MAP5). On s'intéresse par ailleurs aux écoulements sanguins dans des artères dans lesquelles a été implanté un stent tressé multi-couche. Des tests *in vivo* ont montré une bio-compatibilité de ces prothèses. Nous essayons d'expliquer de manière mathématique ce phénomène, par des techniques de développement asymptotiques en couches limites et/ou par des lois de parois appropriées. Ce travail est mené en partenariat avec l'entreprise Cardiatis (<http://www.cardiatis.com>) qui conçoit et commercialise ce type de stent.

**Simulateurs chirurgicaux : approche géométrique - contact : François Faure** Les Gestes Médicaux et Chirurgicaux Assistés par Ordinateur sont un thème très actuel à la fois en recherche et pour l'enseignement en médecine. L'équipe pilote un projet de développement d'une plate-forme de réalité virtuelle (SOFA <http://www.sofa-framework.org>) dédiée à la simulation médicale. Les enjeux de ces simulateurs sont de prendre en compte des rhéologies complexes avec des contraintes de calcul « temps réel ». L'approche suivie est de modéliser les tissus

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

en suivant leurs déformations lagrangiennes par des techniques géométriques multi-échelles. Cela conduit à des représentations multi-modèles d’organes où comportement physique multi-échelles (micro / méso / macro-scopique) et rendu réaliste temps-réel peuvent cohabiter. La plate-forme SOFA regroupe de nombreux partenaires dont l’INRIA et le Center for Integration of Medicine & innovative Technology de Harvard.

### 1.3 Imagerie médicale

Il s’agit ici d’un domaine que nous attaquons avec des outils déterministes ou stochastiques en fonction des applications.

**Méthodes d’ondelettes - contacts : Anestis Antoniadis et Valérie Perrier** Les bases d’ondelettes sont des fonctions populaires en traitement d’image depuis leur intégration dans le standard de compression des images numériques JPEG2000. Un premier type d’applications visées au LJK concernent la reconstruction d’objet 2D (ou 3D) à partir de données incomplètes 1D (ou 2D) fournies par un scanner ou d’un C-arm pendant une intervention chirurgicale. Les ondelettes sont utilisées en particulier pour reconstruire les discontinuités de la fonction à partir de ses projections tronquées ou limitées à un secteur angulaire. Ces travaux ont été menés en collaboration avec le laboratoire TIMC et la société PRAXIM. Les ondelettes sont aussi utilisées en combinaison avec des méthodes statistiques de type EM (*Expectation Maximization*). Le but est de traiter des images multi-spectrales qui résultent de l’absorption des rayons dans les différents tissus entourant ou constituant une tumeur par exemple. Les algorithmes combinent alors seuillage par ondelettes, classification des données par méthode statistique et régularisation pour la segmentation finale.

**Modèles EDP - contact : Georges-Henri Cottet** Les modèles que nous développons sont des modèles de diffusion anisotropes. Leur particularité est que le tenseur de diffusion, responsable du filtrage, suit une loi d’évolution qui lui permet d’apprendre les gradients de l’image. Ce modèle est construit sur une approximation de la diffusion à partir d’un réseau de neurones avec des règles d’apprentissage Hebbiennes. Combiné avec des techniques de contours actifs, il se révèle efficace en particulier sur des images à faible contraste, comme les échographies.

**Modèles Markoviens - contact : Florence.Fobes@inrialpes.fr** Le point de vue choisi ici pour traiter des IRM anatomiques consiste à considérer simultanément la segmentation des tissus et des structures. Une approche markovienne fondée sur le raffinement mutuel des segmentations en tissus et en structures est implémentée dans un environnement multi-agents : des entités autonomes distribuées dans l’image estiment des modèles markoviens locaux et coopèrent pour assurer leur cohérence. Ce travail se fait en collaboration avec des chercheurs du Laboratoire d’Informatique et de l’Institut des Neurosciences de Grenoble. Ces méthodes ont été testées sur des images IRM acquises à 3 Tesla et vont être étendues à des images liées à des pathologies (sclérose en plaques et accidents vasculaires).

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

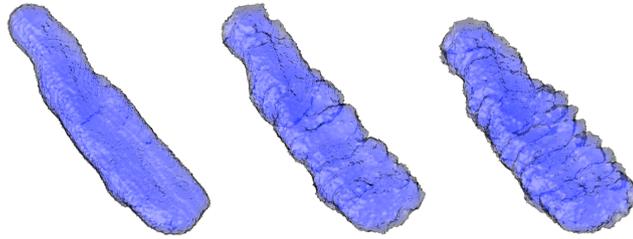


FIG. 1 – Contraction 3D d'un cardio-myocyte isolé soumis à une vague calcique extérieure.

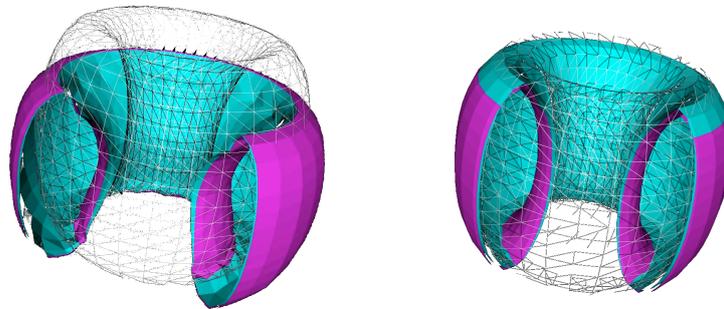


FIG. 2 – Déformation mécanique de deux géométries idéalisées de ventricules pour différentes classes d'orientation de fibres géodésiques avec des lois de comportement macroscopiques (à gauche) et homogénéisé (à droite).

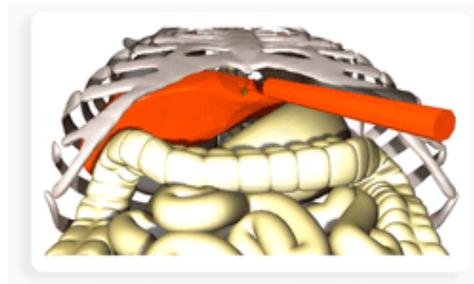


FIG. 3 – Utilisation du simulateur SOFA en chirurgie laparoscopique.

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

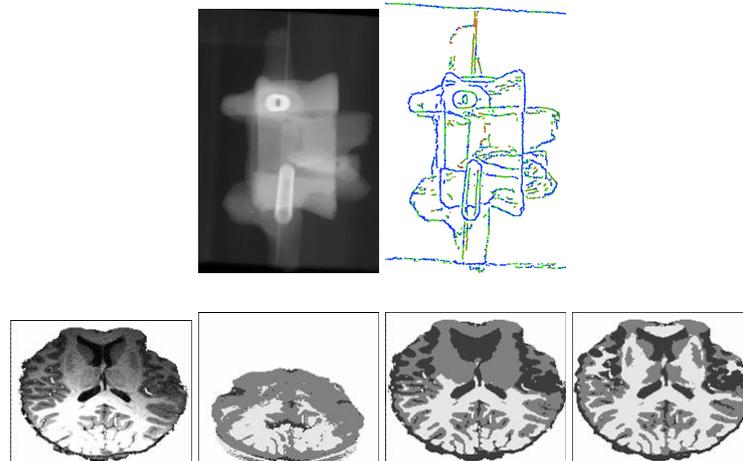


FIG. 4 – Segmentation d’images médicales. Figures du haut : radio de vertèbre segmentée par méthodes d’ondelettes. Figures du bas : comparaison, sur une image de tissu cérébral (figure de gauche), de la méthode multi-agents LOCUS (figure de droite) avec d’autres méthodes (méthode FSL et SPM5).

## Références

- [1] Antoniadis, A. and Bigot, J. and Von Sachs, R. *A multiscale approach for statistical characterization of spatially and temporally heterogeneous brain response images*. Technical Report, 2007.
- [2] Della Dora, J. and Maignan, A. and Tournier, L. *Dynamical systems : an algorithmic point of view*. Transgressive Computing 2006.
- [3] Faure, F. and Allard, J. and Cotin, S. and Neumann, P. and Bensoussan, P.-J. and Duriez, C. and Delingette, H. and Grisoni, L. *SOFA : A Modular yet efficient simulation framework*. Surgetica, 2007.
- [4] Jouk, P.-S. and Mourad, A. and Milisic, V. and Michalowicz, G. and Raoult, A. and Caillerie, D. and Usson, Y. *Analysis of the fibre architecture of the heart by quantitative polarized light microscopy - Accuracy, limitations and contribution to the study of the fibre architecture of the ventricles during fetal and neonatal life*. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, 2007.
- [5] Maitre, E., Milcent, T., and Georges-Henri Cottet, G.-H., Raoult, A. and Usson, Y. *Applications of level set methods in computational biophysics*, Math. Comput. Modelling, à paraître.

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

- [6] Milisic, V., *Impact of multi-layer stent's geometric shape on blood flow and restenosis in large to medium arteries*, in Third international symposium on modelling of physiological flows, MPF, Lausanne, 2006.
- [7] Perrier, V., Bilgot, A., Le Cadet, O. and Desbat, L. *Transformée en ondelettes continue directionnelle : applications en imagerie médicale*, in ESAIM : PROCEEDINGS, 2007, 18, pp. 216-228 Jean-Frédéric Gerbeau & Stéphane Labbé, Editors.
- [8] Scherrer, B., Dojat, M., Forbes, F., and Garbay, C., *LOCUS : Local Cooperative Unified Segmentation of MRI Brain Scans*, in 10th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention, Brisbane, 2007.
- [9] Tonnelier, A. *Categorization of neural excitability using threshold models*. Neural Computation, 2005.

## 2 Laboratoire de Mathématiques, Université de Chambéry

**Auteur :** Didier Bresch [Didier.Bresch@univ-savoie.fr](mailto:Didier.Bresch@univ-savoie.fr)  
**Equipe :** LAMA, Université de Savoie

Au carrefour de la Suisse et de l'Italie, le Laboratoire de Mathématiques de l'Université de Savoie (LAMA - UMR5127) est une entité CNRS au beau milieu des Alpes et très proche de Grenoble et de Lyon. Les disciplines qui y sont développées vont de la géométrie aux EDPs en passant par la logique. L'aspect inter-disciplinaire conduit principalement les divers travaux en Mathématiques Appliquées du laboratoire. Nous nous concentrons actuellement sur plusieurs aspects en lien à la biomédecine et la biologie : étude du génome, reconstruction d'images, étude des tumeurs cancéreuses, modélisation des tissus, problèmes liés à la peau. Plus qu'un travail au sein d'un laboratoire, il s'agit d'un travail interconnecté avec les villes voisines (UMPA de l'ENS Lyon et Institut Camille Jordan de Lyon 1, LJK de Grenoble) et en lien avec les thématiques du projet INRIA Numed porté par Emmanuel Grenier. Nous renvoyons donc également le lecteur intéressé aux descriptifs des centres sus-nommés. Les adresses des personnes du LAMA mentionnées dans ce texte sont [prenom.nom@univ-savoie.fr](mailto:prenom.nom@univ-savoie.fr).

### 2.1 Modélisation du cancer

Comprendre le développement d'une tumeur cancéreuse est primordial pour améliorer les thérapies. La complexité d'un tel challenge est la multiplicité des échelles et des phénomènes mis en jeu : complexité génétique, sub-cellulaire, cellulaire avec interaction forte avec l'anatomie. Essayer d'être exhaustif est bien sûr sans espoir mais une de nos stratégies consiste à simuler certaines parties de l'évolution pour en comprendre les interactions. Une autre stratégie pour mieux comprendre la complexité du cancer est de tester « in silico » quelques innovations thérapeutiques en utilisant la plateforme numérique. De telles études sont organisées autour du projet ModCan de l'IMTH de Lyon en collaboration avec des cliniciens, biologistes de Lyon et des mathématiciens de l'UMPA ENS-Lyon, de l'Institut Camille Jordan de Lyon et de l'IMB de Bordeaux. Cette partie est entièrement rattachée au projet INRIA Numed (pour information contacter par exemple D. Bresch ou E. Grenier).

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

**Croissance tumorale avasculaire et invasion** L'étude de la croissance local et de l'invasion de tumeurs avasculaires amène à prendre en compte la résistance mécanique des tissus ou membranes pour comprendre comment elles déforment localement l'anatomie et comment elles dégradent la matrice extra-cellulaire ou les membranes basales. Ce problème comporte des aspects mécaniques et des aspects bio-chimiques. Des travaux ont été déjà réalisés au sein du projet Modcan qui ont donné lieu à plusieurs publications.

**Dynamique cellulaire pour migration** Mettre en place des modèles mécaniques pour les cellules ou tissus est un sujet en pleine expansion. Il est par exemple très important de comprendre les spécificités du vivant par des jeux de modèles simples. Des travaux sont en cours pour analyser la dynamique protéines-protéines lors des contacts cellule-cellule, cellule-membrane. Ces travaux seront confrontés à des expériences en lien avec C. Verdier du LSP.

### 2.2 Problèmes liés à la peau

Étudier les effets de la balnéothérapie sur le corps humain n'est pas chose simple tant les échelles sont multiples et les phénomènes afférents complexes. Récemment, en collaboration avec J. Bear (spécialiste en milieux poreux), D. Bresch, S. Descombes et J. Olivier ont écrit un premier modèle prenant en compte l'aspect stratifié de la peau et les réactions chimiques liées au dioxyde de carbone. De telles études peuvent être adaptées pour des problématiques liées à la dermatologie.

### 2.3 Bio-mécanique

**Comportement actif en grandes déformations du coeur et des artères - contact :** Christian Bourdarias, Stéphane Gerbi et Jacques Ohayon (TIMC) *Le matériau composite vivant, présent naturellement dans le corps humain, subit des déformations pouvant aller jusqu'à 40 % et a de plus un comportement non linéaire.*

L'élaboration d'une simulation numérique pour le matériau composite vivant est une étape mécanique et mathématique indispensable pour permettre de mieux comprendre le comportement de ces structures que sont le coeur, les vaisseaux, les muscles .... Une première étape de notre travail a consisté à élaborer une méthode d'éléments finis pour la simulation en élasticité non linéaire et en grandes déformations des déplacements d'un tissu musculaire actif, incompressible, transversalement isotrope. La fonction d'énergie utilisée décrit les propriétés mécaniques du tissu actif et fait intervenir une fonction d'activation dépendant du temps. Supposant les forces internes et d'inertie négligeables, nous avons considéré un élément rectangulaire puis cylindrique pour calculer les déplacements lors de la contraction active d'un échantillon musculaire et d'un cylindre fini à paroi épaisse et anisotrope. Les cas tests choisis ont permis de valider la méthode grâce à la connaissance d'une solution analytique. Le comportement mécanique du réseau de collagène enrobant les fibres musculaires (FM) est souvent considéré comme isotrope et passif. Or, des études expérimentales ont montré qu'un échantillon de myocarde actif développe des forces dans la direction perpendiculaire aux FM. Nous pensons qu'un tel comportement est du à une interaction forte entre le réseau de collagène environnant et les FM. De façon à tester cette hypothèse, nous avons proposé et modélisé un mécanisme d'interaction probable entre les fibrilles inextensibles de collagène et les FM contractiles (voir Fig. 5 ci-dessous).

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

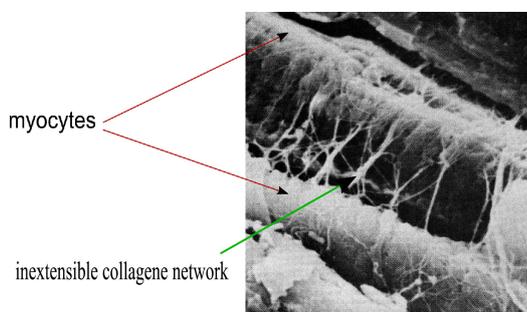


FIG. 5 – structure microscopique de la matrice de collagène

Nous avons proposé ensuite une formulation éléments finis prenant en compte la contrainte « pseudo-active » résultant de cette interaction. Le modèle a été testé sur des cas simples pour lesquels on dispose de données expérimentales, ainsi que sur un modèle simplifié d’artère . Les résultats obtenus montrent que l’organisation du réseau de collagène que nous proposons dans ce modèle pourrait contribuer à l’épaississement systolique normal de la paroi du ventricule gauche. Nous nous orientons actuellement vers la prise en compte de la structure réelle multicouches d’une artère saine ou malade (voir Fig. 6) ainsi que de l’orientation non uniforme des fibres de la zone médiane active.

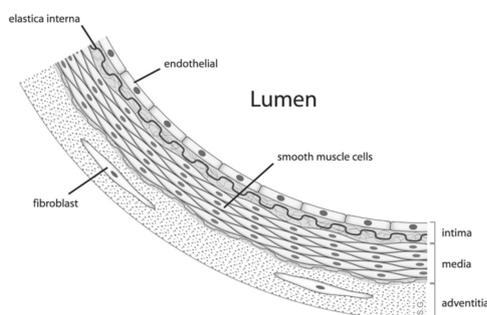


FIG. 6 – structure de la paroi artérielle

## 2.4 Reconstruction d’images

**Modèles déformables - contacts : Jacques-Olivier Lachaud** J.-O. Lachaud et B. Taton travaillent sur les modèles déformables pour la segmentation et la reconstruction d’images biomédicales. La thèse de Benjamin Taton portait sur l’utilisation de la géométrie riemannienne pour réduire le nombre de paramètres à optimiser des modèles déformables classiques. Les modèles déformables classiques définissent une fonctionnelle à minimiser qui équilibre l’adéquation modèle/image d’une part et le lissé du modèle d’autre part. Un choix classique est de favoriser la présence du modèle sur les forts gradients de l’image et de favoriser aussi

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

les formes d’aire et de courbures minimales. Ces techniques ont néanmoins l’inconvénient de nécessiter un nombre de paramètres (les sommets de la maille en déformation) qui dépend de la résolution de l’image et de la taille de la composante à extraire. En changeant la métrique euclidienne classique par une métrique riemannienne adaptée aux caractéristiques locales de l’image d’intérêt, on peut diminuer très fortement le nombre de sommets nécessaires pour représenter le modèle. Ainsi, la densité de sommets pourra être très faible sur des zones homogènes ou bruitées et augmenter significativement dans les zones de gradients forts et courbés. Par ce biais, nous avons mis au point un modèle déformable capable d’extraire des composantes image arbitrairement complexes, avec le nombre de paramètres minimal pour représenter la forme à extraire. En pratique, un tel modèle nécessite environ dix fois moins de paramètres, et les temps de calcul sont divisés par un facteur entre cinq et dix. Nous avons testé la technique sur des images tomodensitométriques de crânes (voir Fig. 7), et des images IRM du cerveau (voir Fig. 8) et de la cage thoracique. Le modèle est capable d’extraire des formes creuses (crânes), tubulaires (réseaux bronchique et artériel), ou très contorsionnées (cortex cérébral).

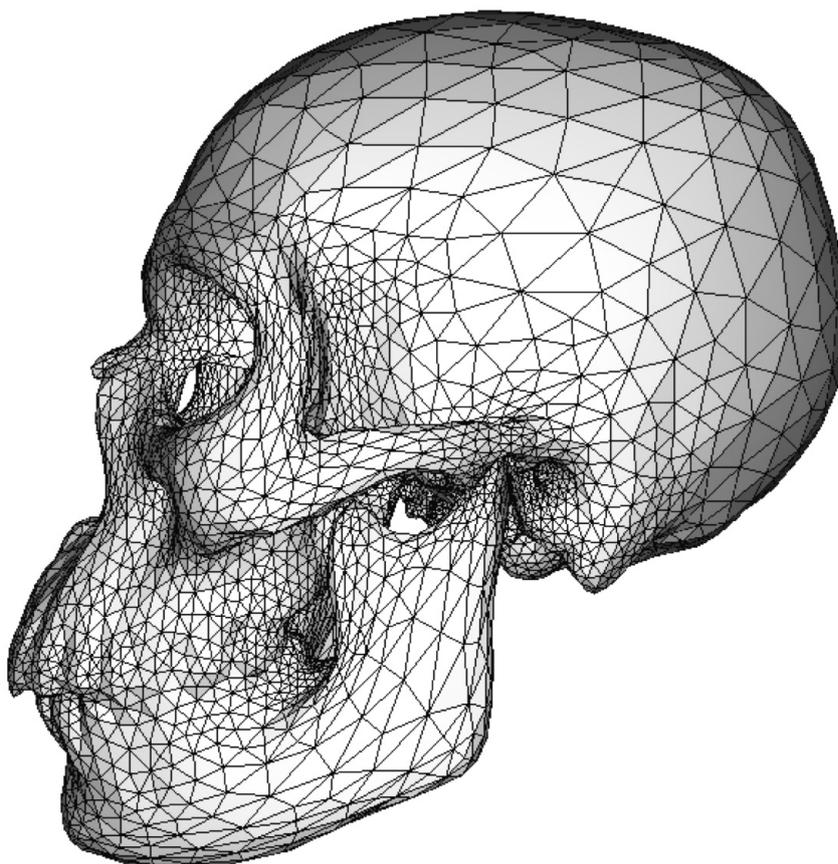


FIG. 7 – Image d’un crâne par modèles déformables.

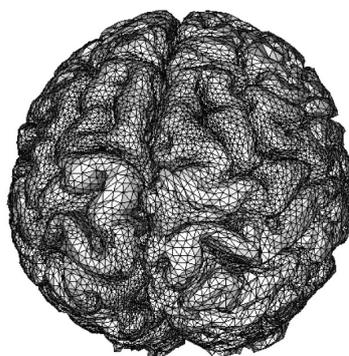


FIG. 8 – Image d’un cerveau par modèles déformables

**Méthodes d’analyse en composantes curviligne - contacts : L. Vuillon** L. Vuillon et K. Tawbe travaillent sur les applications des méthodes d’analyse en composantes curvilignes pour la reconstruction d’images en imagerie médicale. Actuellement, ils développent des algorithmes basés sur l’analyse de données et la géométrie, afin d’étudier et repérer des tumeurs du cerveau dans des images provenant d’IRM. Ce travail est en collaboration avec F. Pelletier (LAMA, Université de Savoie) et J.-M. Morvan (IGD, Lyon). Le but est de proposer de mélanger les approches statistique et géométrique en analyse d’images. En particulier, un travail est en cours sur des images provenant d’IRM de tumeurs au cerveau. L’idée est de faire de l’analyse de données et de la classification afin d’évaluer des paramètres statistiques et géométriques permettant de prédire l’évolution d’une tumeur selon ces paramètres et aussi selon la localisation de la tumeur dans le cerveau.

### 3 Laboratoire de Spectrométrie Physique, Université de Grenoble

**Auteur** Jocelyn Étienne [JEtienne@ujf-grenoble.fr](mailto:JEtienne@ujf-grenoble.fr)

**Equipe** : Equipe Dynamique des Fluides Complexes et Morphogénèse, Lab. de Spectrométrie Physique, CNRS-Univ. Joseph Fourier (Grenoble I)

Ces dernières années ont vu une prise de conscience croissante du rôle souvent crucial que jouent les aspects mécaniques dans les interactions de la cellule biologique avec son environnement, mais aussi dans des processus biologiques fondamentaux comme la différenciation des cellules souches [1]. Il est donc naturel de vouloir modéliser ces propriétés mécaniques.

Les globules rouges sont des cellules très simples, constitués seulement d’une membrane (formée d’une bicouche lipidique et d’un fin cortex de protéines, qui sont des polymères) renfermant un fluide newtonien, l’hémoglobine. Nous nous intéresserons également aux cellules eucaryotes, qui renferment aussi un noyau

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

cellulaire et un cytosquelette. Ce dernier consiste en un réseau organisé de protéines semi-flexibles, liées entre elles par réticulations mais aussi par des molécules « motrices », capables d’imposer des forces contractiles.

### 3.1 Petit bestiaire et modèles correspondants

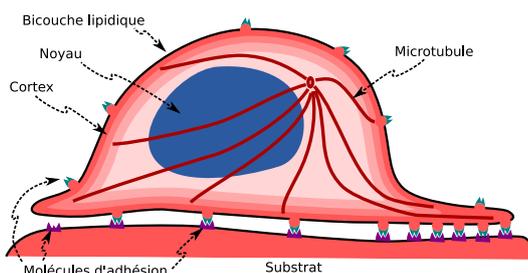


FIG. 9 – La cellule eucaryote en adhésion sur un substrat.

La figure 9 présente les plus importantes des structures qui forment la cellule eucaryote, dont certaines sont aussi présentes dans le globule rouge.

**Les bicouches lipidiques.** Elles forment les parois des cellules, et comportent des molécules remplissant diverses fonctions biologiques : molécules d’adhésion, permettant un ancrage tant de molécules extérieures à la cellule (ancrage sur un substrat, par exemple) qu’intérieures (ancrage du cytosquelette), canaux permettant le passage d’espèces chimiques, etc. Elles sont peu extensibles (de l’ordre de quelques pourcents). Pour les globules rouges, leur aire est près de 50 % plus grande que l’aire d’une sphère ayant le volume du globule rouge : c’est cet excès d’aire qui permet la déformation. Dans le cas des cellules eucaryotes, l’excès d’aire est probablement beaucoup plus important encore [2], et, lorsque la cellule est quasi-sphérique, la membrane est « fripée ». Elle n’exerce probablement alors qu’une contrainte mécanique négligeable.

On peut la modéliser par une surface incompressible, ce qui est bien approprié dans le cas des globules rouges ([3] par exemple). Pour les cellules eucaryotes, la simulation directe d’une membrane fripée est plus difficile, et nous explorons actuellement différents modèles possibles.

**Le cortex.** C’est un réseau de polymères (actine pour les eucaryotes, spectrine pour les globules rouges) au pourtour de la cellule, fortement ancré sur la membrane. Pour les globules rouges, il ne fait que 0,05 microns d’épaisseur ; dans le cas des cellules eucaryotes, il fait partie du cytosquelette et a une épaisseur s’approchant du micron.

Ce cortex, à haute fréquence, a des propriétés viscoélastiques. Cependant, il est difficile de les caractériser comme un matériau : *in vivo*, les protéines qui le composent sont en perpétuelle destruction et reformation (par polymérisation), les réticulations elles aussi sont de courte durée, et les molécules motrices sont actives même lorsque la cellule est statique. Le modèle approprié dépendra donc fortement du temps caractéristique considéré, entre la seconde pour une sollicitation d’AFM et l’heure pour une expérience d’étalement sur un substrat.

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Pour les globules rouges, on peut traiter le cortex comme étant infiniment fin, et utiliser une loi de membrane comme celle de Mooney [4].

**Le reste du cytosquelette** contient notablement des microtubules, qui sont des protéines très rigides organisées en étoile autour d’un point focal, situé aux abords du noyau. Les mêmes remarques valent pour lui que pour le cortex, auquel il est fortement connecté.

**Le noyau** représente environ 10 % du volume cellulaire (soit un diamètre de 45 % celui de la cellule!), il est très élastique. Des modèles de solide élastique ou fluide viscoélastique sont appropriés.

### 3.2 Approches pour la simulation

On se place ici dans les conditions où des globules rouges (diamètre 8 microns) et des cellules eucaryotes (quelques dizaines de microns) évoluent en suspension dans un fluide (écoulement sanguin ou chambre expérimentale) et interagissent avec un substrat (autres cellules, celles de la paroi vasculaire par exemple, ou lame de microscope). Les vitesses sont très faibles, et l’inertie toujours négligeable. Trois grandes classes de méthodes numériques pour simuler ces problèmes à interfaces mobiles sont utilisées dans notre équipe.

Les **méthodes d’intégrales de frontières (MIF)** sont très appropriées au cas des globules rouges, où les fluides considérés sont newtoniens et régis par les équations de Stokes. L’accent en effet est mis sur la loi de comportement du système formé par la bicouche lipidique et le cortex. On peut également imposer l’inextensibilité de la membrane en utilisant un multiplicateur de Lagrange [3]. Des phénomènes comme le *tumbling* peuvent ainsi être étudiés.

Les **méthodes de type champ de phase** (et également celles de *level-set*) correspondent à une approche radicalement différente, où les interfaces ne sont pas discrétisées mais connues implicitement. Les forces surfaciques sont alors calculées et appliquées sur une interface « diffuse », ayant une épaisseur numérique non nulle. Ces méthodes sont donc moins appropriées aux problèmes où les forces surfaciques sont prépondérantes, mais permettent d’employer des lois de comportement non-newtoniennes pour les fluides. Elles ont été utilisées par exemple pour l’étude du détachement par un écoulement d’une cellule adhérant à un substrat [5].

Enfin, afin de pouvoir simuler simultanément des fluides non-newtoniens et des membranes infiniment minces, nous développons une **méthode d’éléments finis lagrangiens**, où la membrane coïncide avec des arêtes des éléments du maillage [6]. Les approches lagrangiennes sont bien adaptées aux écoulements avec des polymères, car la dérivée objective se discrétise plus naturellement dans ce cadre [7], et le fait de disposer d’une discrétisation de la membrane permet de transposer les techniques employées pour les intégrales de frontières, par exemple l’emploi d’un multiplicateur de Lagrange pour imposer l’inextensibilité de la membrane.

### 3.3 Perspectives

La modélisation et la simulation de cellules biologiques sont susceptibles d’apporter de nouvelles compréhensions de phénomènes biologiques, comme la ca-

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

pacité de déformation des globules rouges passant dans des capillaires étroits, la migration des cellules sur des substrats, le processus d'extravasation (passage d'une cellule au travers de la paroi vasculaire). Ces phénomènes mécaniques ont des applications médicales aussi variées que la prévention des infarctus ou celle des métastases cancéreuses, et nous travaillons en étroite collaboration avec des biologistes, notamment ceux de l'Institut Albert Bonniot, pour identifier les enjeux-clés et répondre aux interrogations qui pourront avoir un impact sur la médecine.

L'équipe participe à un projet européen, *Modelling, Mathematical Methods and Computer Simulation of Tumour Growth and Therapy* (<http://calvino.polito.it/mcrtn/>), et a organisé du 7 au 11 janvier une école d'hiver sur ces thèmes (<http://www-lsp.ujf-grenoble.fr/multicell2008>).

Nous sommes également impliqués dans le projet ANR Modélisation et simulation de fluides complexes biomimétiques (MOSICOB), qui s'intéresse aux échelles spatiales immédiatement supérieures (écoulement de suspensions de cellules). Le CEMRACS 2008 portera en partie sur ces thèmes (<http://smai.emath.fr/cemracs>).

## Références

- [1] J. P. Chute, *Stem cell homing*, Current Opinion in Hematology, 2006.
- [2] D. Raucher and M. P. Sheetz, *Cell Spreading and Lamellipodial Extension Rate Is Regulated by Membrane Tension*, J. Cell Biol, 2000.
- [3] I. Cantat and K. Kassner and C. Misbah, *Vesicles in haptotaxis with hydrodynamical dissipation*, Eur. Phys. J. E, 2003.
- [4] M. Rachik and D. Barthès-Biesel and M. Carin and F. Edwards-Levy, *Identification of the elastic properties of an artificial capsule membrane with the compression test : Effect of thickness*, Journal of Colloid and Interface Science, 2006.
- [5] Q. Jin and C. Verdier and P. Singh and N. Aubry and R. Chottard-Ghodsnia and A. Duperray, *Migration and deformation of leukocytes in pressure driven flow*, Mechanics Research Communications, 2007.
- [6] J. Étienne and C. Verdier, *Sharp-interface modelling of viscous and viscoelastic cells driven by adhesion forces*, 4th Annual European Rheology Conference, 2007.
- [7] J. Étienne and E. J. Hinch and J. Li, *A Lagrangian–Eulerian approach for the numerical simulation of free-surface flow of a viscoelastic material*, J. Non-Newtonian Fluid Mech., 2006.

## 4 Lab. de Mathématique Appliquée, Univ. du Havre

**Auteur :** Pierre Magal `pierre.magal@univ-lehavre.fr`

**Equipe :** Laboratoire de Mathématique Appliquée du Havre, Univ. du Havre

### Membres de l'équipe :

- Pierre Magal, HDR
- Kevin Prévost, Doctorant
- Jixun Chu, Doctorant
- Zhihua Liu, PostDoc

### 4.1 Infection Nosocomiales

L'émergence des souches bactériennes résistantes est un problème de société de plus en plus important. Beaucoup d'antibiotiques qui étaient autrefois efficaces pour combattre les infections bactériennes dans les hôpitaux ne le sont plus aujourd'hui. Ceci est dû à l'évolution génétique des souches bactériennes qui colonisent le milieu hospitalier. Récemment nous avons étudié ces problèmes en construisant des modèles mathématiques au niveau d'un individu, puis au niveau d'une population de patients. Ceci nous a permis d'étudier l'impact des périodes de traitement sur la propagation des épidémies. En particulier nous avons montré qu'il est préférable de minimiser la durée des traitements pour limiter la propagation des souches résistantes.

### 4.2 Propagation de Salmonelles

Salmonella est une des causes majeures d'infection alimentaire chez l'homme. La principale raison pour la transmission à l'homme des salmonelles est la consommation d'œufs et de ces dérivés. Ceci constitue un problème de santé publique majeur. Pour contrôler l'incidence des salmonelles dans les poulaillers industriels, plusieurs méthodes de prophylaxies ont été utilisées. Mais aucune de ces méthodes ne permet de réduire le risque total de contamination. Notre objectif est le développement de modèles mathématiques permettant d'étudier l'impact de ces différentes mesures sur le risque de contamination pour les humains. Récemment, nous avons étudié les effets de l'hétérogénéité génétique des animaux sur le développement d'épizooties de salmonelles.

## Références

- [1] E.M.C. D'Agata, P. Magal, D. Olivier, S. Ruan, G.F. Webb, *Modeling Antibiotic Resistance in Hospitals : The Impact of Minimizing Treatment Duration*, Journal of Theoretical Biology, 2007.
- [2] E. D'Agata, P. Magal, S. Ruan and G. F. Webb, *Asymptotic behavior in nosocomial epidemic models with antibiotic resistance*, Differential and Integral Equations, 2006.
- [3] G.F. Webb, E. D'Agata, P. Magal, S. Ruan, *A model of antibiotic resistant bacterial epidemics in hospitals*, Proceedings of the National Academics of Sciences of the USA, 2005.

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

- [4] K. Prévost, P. Magal, J. Protais and C. Beaumont, *Effect of hens' genetic resistance to Salmonella carrier-state on incidence of bacterial contamination : synergy with vaccination*, Veterinary Research, 2007 (accepted).
- [5] K. Prévost, C. Beaumont, P. Magal, *Asymptotic behavior in a Salmonella Infection Model*, Mathematical Modelling of Natural Phenomena, 2007.
- [6] K. Prévost, C. Beaumont, P. Magal, *A Model of Salmonella infection within hens herd*, Journal of Theoretical Biology, 2006.

### 5 Institut Camille Jordan, Université Lyon 1

**Auteur :** Stéphane Genieys [genieys@math.univ-lyon1.fr](mailto:genieys@math.univ-lyon1.fr)

**Equipe :** M3B, Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard Lyon 1

<http://bsmc.insa-lyon.fr/~M3B/index.htm>

L'équipe Modélisation Mathématique en Médecine et Biologie (M3B) regroupe des mathématiciens appliqués de l'Institut Camille Jordan, à Lyon (voir le site <http://bsmc.insa-lyon.fr/~M3B/index.htm>).

Elle provient originellement de la communauté de la combustion et des milieux réactifs, et a commencé à s'intéresser aux problèmes de morphogénèse en 2001 (équations de réaction-diffusion, structures dissipatives, appliquées à l'ornementation des coquilles de mollusques).

Elle a depuis tissé des liens avec divers acteurs lyonnais cherchant à rapprocher les sciences formelles et les sciences du vivant, comme l'Institut de Médecine Théorique (*IMTh*, <http://imth.univ-lyon1.fr/>), l'Institut des Systèmes Complexes (*IXXI*, <http://www.ixxi.fr/>) et l'équipe de Biologie des Systèmes et Modélisation Cellulaire (*BSMC*, <http://bsmc.insa-lyon.fr/website/>), qui regroupe biologistes, informaticiens et mathématiciens lyonnais et se consacre plus particulièrement à l'échelle cellulaire).

#### 5.1 Réseau de régulation génétiques - croissance des plantes

Dans ce contexte, l'équipe M3B s'est d'abord consacrée à l'émergence des formes dans diverses situations, avec par exemple l'étude des réseaux de régulation génétiques (modélisés par des systèmes de réaction-diffusion dont la réaction est inspirée des réseaux de neurones, on étudie alors leur capacité à produire des structures spatio-temporelles), ou la modélisation de la croissance des plantes (problèmes à frontière libre, couplage EDP-modèles discrets).

#### 5.2 Maladies sanguines

Depuis 2004, l'équipe M3B s'intéresse tout particulièrement aux propriétés du sang et à plusieurs maladies sanguines. La motivation initiale était un problème d'aide au diagnostic des leucémies (classification en divers types, traitement de données) en collaboration avec le service d'hématologie de l'hôpital Edouard Herriot de Lyon. L'équipe s'intéresse depuis à la modélisation de l'hématopoïèse (production des cellules sanguines dans la moelle osseuse), dont certains dysfonctionnements sont à l'origine des leucémies. Elle étudie par exemple la dynamique du retour à l'équilibre après une anémie (équations de transport décrivant

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

des populations de cellules structurées en âge et maturité, EDO à retard, données expérimentales), l’influence des rétro-contrôles (dont le plus connu est l’EPO), le choix entre auto-renouvellement et différenciation (dont le dérèglement à divers stades de maturité conduit aux différents types de leucémies) ou la compétition pour la place dans la moelle osseuse (EDP milieux poreux et systèmes multi-agents). Ces études se font en collaboration avec des biologistes de l’équipe BSMC.

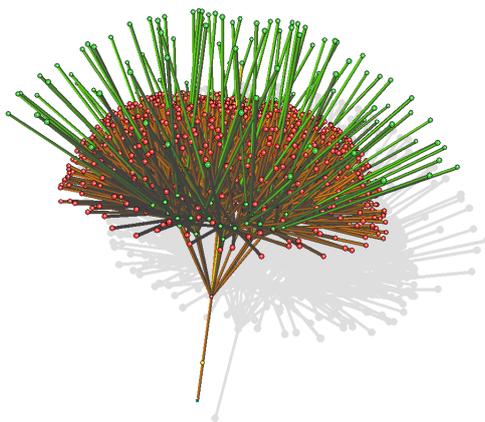


FIG. 10 – Simulation de la croissance des plantes.

Le problème de la compétition entre cellules pour diverses ressources, et de son lien avec la différenciation, a amené l’équipe à l’étude de la dynamique adaptative. De façon générale, la dynamique adaptative fait le lien entre la théorie de l’évolution et l’écologie. Elle décrit la façon dont les échanges écologiques à l’intérieur d’une population (par exemple la compétition) modifient le caractère adapté des individus (leur fitness). Dans ce contexte, l’équipe s’intéresse au branchement évolutif (une population se sépare en deux sous-populations distinctes pour diminuer la compétition, équation intégro-différentielle de type Fisher non-locale) et à la concentration sur des morphologies isolées (équation de Hamilton-Jacobi avec contrainte). L’équipe n’a pas étudié la concentration sur des morphologies isolées dans le cadre de l’hématopoïèse, mais le fait dans un autre contexte cellulaire (la dynamique des follicules ovariens, concentration en taille).

### 5.3 Dynamique du prion

L’équipe M3B utilise aussi des modèles de populations structurées en taille dans un autre contexte, l’étude de la dynamique du prion. Les maladies liées au prion (encéphalopathies spongiformes) apparaissent lorsque le prion des cellules de l’encéphale se polymérise, ce qui l’empêche de jouer son rôle protecteur habituel. L’équipe développe dans ce contexte des modèles de la polymérisation (populations structurées en taille de polymères).

Ces maladies sont non inflammatoires parce que le prion, même polymérisé, n’est pas reconnu comme un agent offensif par le système immunitaire. La dernière pathologie à laquelle s’intéresse l’équipe M3B, au contraire, a une forte composante inflammatoire. Il s’agit d’une maladie cardio-vasculaire, l’athérosclérose. Elle est inflammatoire dans sa phase initiale : le cholestérol, en pénétrant dans

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

la paroi des vaisseaux, y déclenche une réaction immunitaire. Cette inflammation entraîne une accumulation de cellules immunitaires chargées en cholestérol dans la paroi, puis la création d’une chape fibreuse (constituée de cellules musculaires) qui vient couvrir la région enflammée. Cette accumulation de cellules lipidiques et cette chape fibreuse déforment le vaisseau et modifient l’écoulement sanguin, ce qui peut entraîner la formation de caillots et est la cause principale des accidents vasculaires cérébraux. Les modèles développés dans l’équipe M3B décrivent la mise en place et la propagation de l’inflammation dans la paroi (réaction-diffusion, existence de fronts) et l’interaction du dépôt lipidique, de la chape fibreuse et de l’écoulement sanguin (simulations numériques, interactions fluide-structure).

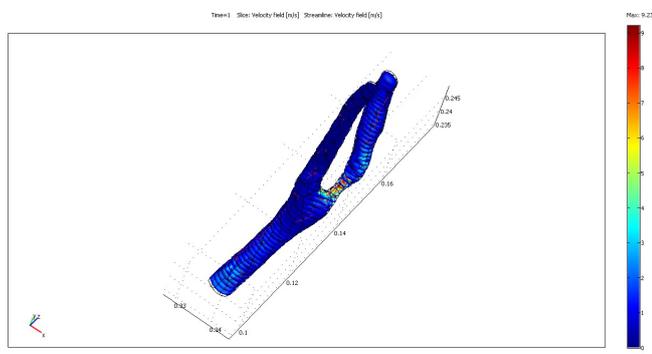


FIG. 11 – Simulation de l’écoulement sanguin dans la bifurcation de la carotide. Collaboration avec le groupe Biofluids, Institute of Applied and Computational Mathematics, Héraklion, Crète.

#### 5.4 Animation scientifique

Cette équipe participe aussi à l’organisation du Séminaire de Modélisation du Vivant (*Semovi*, <http://www.cgmc.univ-lyon1.fr/Semovi/>) destiné à tous les acteurs de la modélisation du vivant de la région Rhône-Alpes, et à la publication de la revue *Mathematical Modelling of Natural Phenomena (MMNP)*, <http://www.ripublication.com/mmnp.htm>.

## 6 MAP5, Université Paris 5

**Auteur :** Annie Raoult [Annie.Raoult@math-info.univ-paris5.fr](mailto:Annie.Raoult@math-info.univ-paris5.fr)  
**Equipe :** MAP5, Université Paris 5

Le laboratoire MAP5 – « MAP » pour « mathématiques appliquées » – est une unité CNRS/université Paris Descartes dirigée par Christine Graffigne. Ses locaux se situent dans le bâtiment de la rue des Saints-Pères. C’est une unité au label UMR

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

récent, en plein essor, dont la qualité a su attirer de jeunes chercheurs qualifiés aussi bien maîtres de conférences que CNRS, ainsi que des enseignants-chercheurs déjà établis. Il est très sollicité pour des accueils en délégation, et ne demande qu'à se renforcer également en ingénieurs et gestionnaires et ... à augmenter sa surface au sol. Le laboratoire comporte une forte composante en probabilités et statistiques, une forte composante en imagerie, et un groupe d'histoire des mathématiques. Il s'ouvre depuis peu à la modélisation déterministe. Rattaché à une université à prédominance médicale, il s'intéresse de manière naturelle à des thèmes liés à la médecine et à la biologie, sans que cela soit exclusif. Nous décrivons ci-dessous quelques-unes des activités du laboratoire dans le domaine couvert par le GDR Mabem qui met un accent particulier sur la modélisation de la cellule, du tissu et de l'organe.

### 6.1 Modélisation myocardique.

Ce travail s'inscrit dans une collaboration avec des chercheurs grenoblois (Denis Caillerie, 3S-R, Emmanuel Maitre, LJK, Vuk Milisic, LJK). Il a été initié à la demande de Pierre-Simon Jouk, PH-PU cardiologue-généticien au CHU de Grenoble et d'Yves Usson, biologiste, TIMC, et a donné lieu à la thèse d'Ayman Mourad (<http://ljk.imag.fr/membres/Ayman.Mourad>). Des relevés cartographiques de fibres cardiaques établis sur des cœurs fœtaux par Pierre-Simon Jouk et Yves Usson au moyen d'une méthode de microscopie en lumière polarisée ont été analysés numériquement (figure 12). Il a été vérifié que l'hypothèse des anatomistes selon laquelle les fibres cardiaques sont des géodésiques de surfaces emboîtées est compatible avec les données expérimentales. Dans la lignée de cette approche qui met en valeur la structure du matériau cardiaque, nous avons construit par une technique d'homogénéisation discrète une loi de comportement du muscle qui part des lois de comportement des cellules cardiaques. Celles-ci sont assimilées à des bâtonnets contractiles et interagissant par des moments. Cette approche est motivée par les progrès des expérimentateurs qui peuvent maintenant fournir des mesures d'élongation sur des cellules isolées. Des travaux connexes portant sur la propagation de vagues calciques dans un cardiomyocyte sont décrits dans la contribution du Laboratoire Jean Kuntzmann.

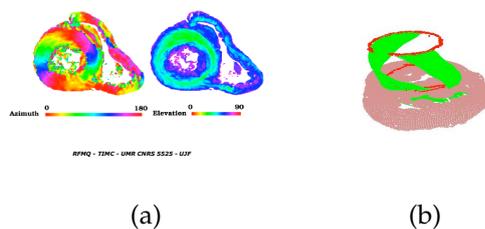


FIG. 12 – (a) Angles d'azimut et d'élévation sur une section coronale, (b) reconstruction d'une nappe de fibres (A. Mourad).

Nous avons mis en place en collaboration avec l'action CardioSense3d de l'INRIA un séminaire portant sur la modélisation du myocarde que nous souhaitons être un point de rencontre pour les chercheurs de plus en plus nombreux dans ce

domaine.

**Soutien :** ACI MoCeMy (<http://www-lmc.imag.fr/MOCEMY>, resp. : Emmanuel Maitre)

**Contact :** [annie.raoult@math-info.univ-paris5.fr](mailto:annie.raoult@math-info.univ-paris5.fr)

## 6.2 Textures tissulaires et osseuses

Deux applications médicales sont visées par cette étude : l'évaluation du risque de fracture chez les patients atteints d'ostéoporose et l'évaluation du risque de développement du cancer du sein. Dans les deux cas, on dispose d'images bi-dimensionnelles dont il faut analyser la texture. Nous utilisons une classe de champs gaussiens à accroissements stationnaires dont le variogramme est de la forme  $v(x) = \int |e^{ix \cdot \zeta} - 1|^2 f(\zeta) d\zeta$  pour tout  $x$  de  $\mathbb{R}^2$  où  $f(\zeta) = |\zeta|^{-2h(\arg(\zeta)) - 2}$ . L'indice de Hurst  $h$  dépend ici de la direction dans l'espace, contrairement à l'indice uniforme du champ brownien fractionnaire : la régularité du champ est donc anisotrope. Des exemples de simulation de ces champs sont donnés sur la figure 13. Nous nous sommes intéressés au problème de l'estimation du paramètre de Hurst directionnel pour ces champs et avons analysé les propriétés asymptotiques d'estimateurs basés sur les variations quadratiques.

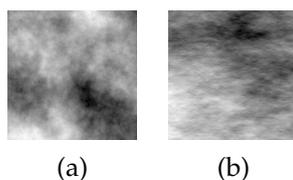


FIG. 13 – Synthèse (a) d'un champ brownien fractionnaire d'indice de Hurst  $H = 0.5$  et (b) d'un champ brownien fractionnaire anisotrope d'indice de Hurst vertical  $0.7$  et horizontal  $0.3$ .

Les thèmes du séminaire Milieux poreux contiennent ceux du projet décrit ci-dessus.

**Soutien :** ANR Mipomodim (<http://mipomodim.math-info.univ-paris5.fr>,

resp. : A. Estrade). **Contact :** [frederic.richard@math-info.univ-paris5.fr](mailto:frederic.richard@math-info.univ-paris5.fr)

## 6.3 Recalage d'images

Le recalage d'images consiste à déformer une image de manière à la rendre superposable et comparable à une autre. Cette opération permet de corriger le mouvement d'un patient durant l'acquisition d'une séquence d'images (figure 14). Nous travaillons en collaboration avec Charles-André Cuénod et Daniel Bavay de l'Hôpital Européen Georges Pompidou. Nous avons pris en compte dans le modèle de recalage la présence dans les images médicales de plusieurs types de tissus qui ont des dynamiques de niveau de gris différentes. Nous utilisons des modèles de mélanges pour caractériser ces dynamiques et combiner le recalage à une classification des tissus. Nous nous sommes, plus récemment, fixé pour objectif l'estimation des paramètres du modèle de recalage à partir des données images par une approche statistique qui repose sur un algorithme SAEM.

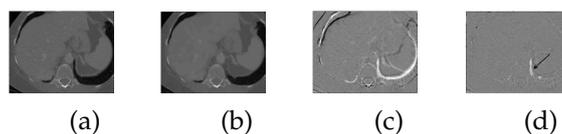


FIG. 14 – Recalage d’un modèle d’image et d’une observation de la séquence : (a) image observée, (b) modèle d’image après recalage. Différences entre le modèle et l’observation (c) avant et (d) après recalage.

**Contact :** frederic.richard@math-info.univ-paris5.fr

#### 6.4 Microcirculation dans les tissus cancéreux

Une méthode prometteuse en cancérologie est de combattre l’angiogenèse. En collaboration avec des cliniciens de l’Hôpital Européen Georges Pompidou, nous cherchons à évaluer *in vivo* les paramètres physiologiques de microcirculation dans les tissus. Pour ce faire, une suite d’images IRM ou CT-scan (mono- ou multicoupes) est acquise pour suivre l’injection d’un agent de contraste. Les rehaussements observés permettent d’appréhender le phénomène de microcirculation. Généralisant les modèles pharmaco-cinétiques existants qui décrivent la microcirculation, nous nous intéressons à des extensions stochastiques de systèmes d’équations différentielles partiellement observés par addition d’un mouvement brownien. Le problème est alors d’estimer les paramètres des systèmes via des méthodes de type maximum de vraisemblance. Nous développons des méthodes de préconditionnement des rehaussements qui permettent d’obtenir un fort gain en rapport signal sur bruit, de classifier les tissus et ainsi de réduire l’analyse à des types de tissus automatiquement différenciés, et d’envisager des méthodes de recalage ou de morphing permettant de compenser les mouvements du corps humain.

**Contact :** yves.rozenholc@math-info.univ-paris5.fr

Nous invitons le lecteur à consulter le site du laboratoire <http://www.math-info.univ-paris5.fr/map5/> et les pages de ses membres pour avoir connaissance des autres activités du laboratoire en biologie et médecine. Citons, parmi d’autres, l’épidémiologie, la génomique, l’écologie, l’analyse de l’équilibre postural, la reconstitution faciale.

### 7 Institut de Recherche Interdisciplinaire, Univ. de Lille

**Auteur :** Ralf Blossey [ralf.blossey@iri.univ-lille1.fr](mailto:ralf.blossey@iri.univ-lille1.fr)  
**Equipe :** Equipe Nanosystèmes Biologique, Institut de Recherche Interdisciplinaire, Université de Lille <http://www.iri.cnrs.fr>

Dans le contexte du GDR Mabem, je veux résumer dans ce texte deux projets en cours, l’un en collaboration avec des informaticiens théoriques, l’autre avec un

biologiste. Les deux projets concernent les propriétés dynamiques de réseaux de régulation (géniques et signalisation).

## 7.1 Dynamique de réseaux de régulation

Le premier projet est dédié à la modélisation de réseaux géniques, les réseaux de transcription. Un réseau typique est démontré dans la figure 17 (tirée d’une publication de Sarah Teichmann). Les chercheurs dans le domaine de la modélisation de réseaux ont proposé plusieurs méthodes : les équations aux dérivées du premier ordre, les modèles booléens, les approches stochastiques ...

La difficulté mathématique de la description de ces réseaux est due au grand nombre des acteurs très variés (ADN, ARN, protéines ...). Pour une modélisation efficace, il faut donc à la fois : réduire le nombre des acteurs considérés ; avoir une approche « modulaire » de la construction du réseau ; avoir un calcul numérique plus efficace.

Dans un papier publié avec Luca Cardelli et Andrew Phillips de Microsoft Research, Cambridge UK [1], nous avons proposé une telle approche. L’approche réduit d’abord le nombre des acteurs via l’introduction de la notion du « gene gate » qui constitue l’élément de base du réseau. Le « gene gate » peut recevoir un signal à son entrée (un facteur de transcription qui se fixe et, soit active, soit inhibe le gene gate), et qui produit un signal à la sortie (un nouveau facteur de transcription). Le gene gate est donc une abstraction des actions d’un gène. Beaucoup de détails biologiques sont évidemment enlevés, mais ils peuvent être rajouté dans une deuxième phase de modélisation. Avec notre construction, on obtient donc d’abord une version « caricaturale » ou « schématique » du réseau, qui est quand même fonctionnelle.

Pour achever les deux autres conditions, on a choisi le pi-calcul comme langage de représentation et de programmation. Ce calcul a l’avantage d’être « compositionnel », ce qui veut dire que chaque élément du réseau peut être défini d’une façon autonome et son action se détermine via les interactions avec les autres éléments du réseau. En plus, car seul les « surfaces d’interaction », c’est-à-dire les inputs et outputs, doivent être définis, le nombre des calculs nécessaires se réduit d’une croissance polynomiale à une croissance linéaire.

Finalement, notre modélisation de réseaux géniques avec le pi-calcul donne lieu à une simulation stochastique en utilisant l’algorithme de Gillespie. Mais notre approche peut aussi être traduite en équations aux dérivées du premier ordre. On peut donc comparer les résultats de calculs déterministes avec des calculs stochastiques parfois avec des résultats surprenants. Nous observons, par exemple, que dans certains types de réseaux des états oscillatoires sont présents dans le système stochastique sans des effets non-linéaires de coopérativité, condition indispensable dans le système déterministe.

Le deuxième projet concerne la modélisation de réseaux de signalisation autour de la cascade MAPK. Dans ce projet, effectué avec le biologiste Jean-François Bardat de l’Université de Lille 1 (USTL) et le thésard Christophe Russo, financé depuis fin 2006 par une bourse de l’Institut National du Cancer (INCa), nous sommes en train de développer un nouveau modèle de la voie de signalisation MAPK dans les ovocytes du Xénope. Ce système a été étudié depuis quelques années déjà, mais c’est juste maintenant que l’on commence à comprendre que la régulation de la cascade MAPK (un modèle classique de la signalisation) est fortement contrôlée par son placement dans un réseau de protéines autour de cette



MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

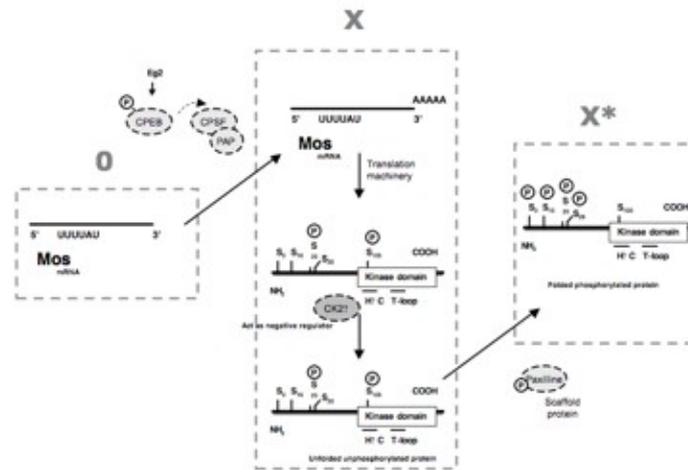


FIG. 16 – Les mécanismes d’activation de MOS, le signal à l’entrée de la cascade MAPK dans les ovocytes de Xenope (J.-F. Bodart).

## Références

- [1] Ralf Blossey, Luca Cardelli, Andrew Phillips, *A Compositional Approach to the Stochastic Dynamics of Gene Networks*, Trans. Comp. Sys. Biol. 3939, 99-122 (2006)
- [2] C. Giuraniuc, C. Russo, J.-F. Bodart, R. Blossey, *On the equilibria of the MAPK cascade*, arXiv:q-bio/0702051

## 8 LATP, Université d’Aix-Marseille III

**Auteur :** François Hamel [francois.hamel@univ-cezanne.fr](mailto:francois.hamel@univ-cezanne.fr)  
**Equipe :** LATP (Laboratoire Analyse, Topologie, Probabilités)  
<http://www.latp.univ-mrs.fr/>

Les mathématiciens faisant partie de l’équipe Marseille du GDR MABEM sont :

- Assia Benabdallah (LATP, Aix-Marseille I),
- Catherine Choquet (LATP, Aix-Marseille III),
- François Hamel (LATP, Aix-Marseille III),
- Raphaèle Herbin (LATP, Aix-Marseille I),
- Florence Hubert (LATP, Aix-Marseille I),

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

- Lionel Roques (UBPS, INRA Avignon),
- Emmanuel Russ (LATP, Aix-Marseille III).

Les activités appliquées à la biologie et à la médecine sont concentrées sur des modèles en cancérologie, des modèles d'écoulements sanguins, de physiologie végétale, de dynamique de populations ainsi que sur des applications de la transformée de Radon à l'imagerie médicale.

### 8.1 Modélisation des traitements par chimiothérapie

Dominique Barbolosi (Aix-Marseille III), Assia Benabdallah et Florence Hubert s'intéressent à la modélisation, l'analyse mathématique et numérique de traitements anticancéreux par chimiothérapie. Cette problématique a reçu un financement de thèse par l'Institut National du cancer et Federico Verga en est le bénéficiaire. La première étape, qui est terminée, a consisté en l'étude mathématique et numérique d'un modèle de croissance de métastases proposé par Iwata, Kawasaki et Shigesada. Une prépublication est en cours de rédaction. Dans le cadre de la Frumam, une journée thématique « Mathématiques et Cancer » a été organisée au LATP le 23 novembre 2007. Une école-workshop « Défis actuels en mathématiques-médecine » est programmée en février 2009, avec Yves Derménjian et Marie Henry (LATP, Aix-Marseille I), dans le cadre du mois résidentiel organisé par l'équipe d'Analyse Appliquée du LATP au CIRM. Une rencontre avec les responsables du canceropôle PACA a eu lieu le jeudi 6 décembre 2007. Un premier séminaire s'est tenu le 21 mars 2008, d'une part pour échanger entre les chercheurs des deux disciplines et, d'autre part, pour associer le canceropôle à l'organisation de l'école de février 2009. Cette expérience sera renouvelée en septembre. Un cours de Master 2 « Modélisation, étude mathématique en biologie du cancer » a été donné en 2007-2008.

### 8.2 Modélisation du système vasculaire coronarien

Catherine Choquet travaille sur la modélisation du système vasculaire coronarien. Il s'agit en fait d'une structure poreuse à l'intérieur d'un solide déformable, le muscle cardiaque. Le contrôle du flux sanguin dans ce système est un enjeu médical crucial. Une idée est de réinvestir les méthodes développées pour les réservoirs pétroliers fracturés dans l'étude de ce milieu à multiples porosités, mais à une échelle beaucoup plus fine ! Pour les vaisseaux sanguins, on peut distinguer l'écoulement au cœur des vaisseaux et dans leurs parois (en particulier dans le cas des artères). D'où le couplage d'une équation de type *advection-diffusion* avec les équations de *Navier-Stokes*. S'ajoutent des phénomènes tels que *coagulation*, « *sédimentation* », *consolidation*, causes entre autres des thromboses... Il faut enfin tenir compte de l'hétérogénéité des milieux, des différents écoulements de fluides et d'ions, de la présence de champs électriques, tous intimement liés aux déformations des parois.

### 8.3 Transformée de Radon en imagerie médicale

Emmanuel Russ travaille sur les applications de la transformée de Radon en imagerie médicale. La transformée de Radon intervient de manière fondamentale en imagerie médicale. Elle sert en particulier à modéliser les coupes radiographiques fournies par un scanner. La reconstruction d'une structure anatomique à partir de

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

ses projections revient alors à inverser la transformée de Radon. La formule classique d'inversion de cette transformée de Radon (cf Natterer, *The mathematics of computerized tomography*, Wiley, 1986) présente l'inconvénient que, pour la calculer en un point, il faut connaître la transformée de Radon sur tous les détecteurs. Plusieurs méthodes ont été proposées pour remédier à ce problème, utilisant notamment des outils comme les ondelettes (Holschneider, *Inverse Problems*, 7, 853-861, 1991). Par ailleurs, des méthodes issues de l'analyse complexe ont aussi été utilisées avec succès dans des problèmes d'inversion de la transformée de Radon (travaux de G. Henkin). On s'intéressera dans ce projet à la résolution de problèmes inverses ou des problèmes d'approximation méromorphe qui apparaissent en tomographie et font intervenir la transformée de Radon. Ce travail pourra être mené en collaboration avec des membres de l'équipe APICS de l'INRIA Sophia Antipolis.

### 8.4 Propagation de fronts en dynamique des populations

François Hamel et Lionel Roques étudient des modèles de propagation de fronts en dynamique de populations dans des milieux hétérogènes. Même si de multiples paramètres environnementaux (diffusion, réaction, interaction, transport, fragmentation) peuvent jouer un rôle, Shigesada et Kawasaki ont construit un modèle simple consistant en une seule équation parabolique semi-linéaire et décrivant la propagation d'une espèce (animal, plante, etc) dans un milieu excitable supposé périodique. La persistance en temps grand et la propagation sont alors équivalentes à la stricte négativité de la valeur propre principale de l'opérateur elliptique linéarisé autour de l'état nul (Berestycki, Hamel et Roques, 2005). À l'aide d'inégalités de Polya-Szegö, on peut montrer que la fragmentation est préjudiciable à la survie des espèces. Des simulations numériques ont été réalisées et des comparaisons dans certaines limites ont été obtenues pour estimer les configurations optimales pour la survie sous certaines contraintes. Cependant, la répartition optimale exacte des habitats n'est pas connue même lorsque le milieu est supposé binaire. Un autre projet en cours concerne l'étude des vitesses d'expansion pour des modèles de propagation d'espèces végétales prenant en compte des interactions à longue portée.

## 9 Projet MITOSCOPI

**Auteur :** Jean-Pierre MAZAT [jpm@u-bordeaux2.fr](mailto:jpm@u-bordeaux2.fr)  
**Equipe :** PROJET ANR MITOSCOPI

ANR MITOSCOPI : Une modélisation multi-niveaux du métabolisme énergétique mitochondrial . **Coordonnateur :** Jean-Pierre MAZAT, INSERM U688, Université Bordeaux 2. [jpm@u-bordeaux2.fr](mailto:jpm@u-bordeaux2.fr).

*Participants :*

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Marie Beurton-Aimar ([aimar@labri.fr](mailto:aimar@labri.fr))

Juan Elezgaray ([j.elezgaray@iecb.u-bordeaux.fr](mailto:j.elezgaray@iecb.u-bordeaux.fr))

Charles Lalès ([Lales@labri.fr](mailto:Lales@labri.fr))

Christine Nazaret ([nazaret@sm.u-bordeaux2.fr](mailto:nazaret@sm.u-bordeaux2.fr))

Stéphane Ransac ([ransac@ibgc.u-bordeaux2.fr](mailto:ransac@ibgc.u-bordeaux2.fr))

Rodrigue Rossignol ([Rodrigue.Rossignol@phys-mito.u-bordeaux2.fr](mailto:Rodrigue.Rossignol@phys-mito.u-bordeaux2.fr))

Michael K. Pidcock ([mkipidcock@brookes.ac.uk](mailto:mkipidcock@brookes.ac.uk))

Claire Pertuiset ([Claire.pertuiset@u-bordeaux2.fr](mailto:Claire.pertuiset@u-bordeaux2.fr))

Nicole Aeveret ([nicole.averet@ibgc.u-bordeaux2.fr](mailto:nicole.averet@ibgc.u-bordeaux2.fr))

Pascal Ballet ([pascal.ballet@univ-brest.fr](mailto:pascal.ballet@univ-brest.fr))

David Fell ([dfell@brookes.ac.uk](mailto:dfell@brookes.ac.uk))

Thierry Letellier ([Thierry.Letellier@phys-mito.u-bordeaux2.fr](mailto:Thierry.Letellier@phys-mito.u-bordeaux2.fr))

Nicolas Parisey ([parisey@labri.fr](mailto:parisey@labri.fr))

Christine Reder ([Christine.Reder@math.u-bordeaux1.fr](mailto:Christine.Reder@math.u-bordeaux1.fr))

Michel Rigoulet ([michel.rigoulet@ibgc.u-bordeaux2.fr](mailto:michel.rigoulet@ibgc.u-bordeaux2.fr))

Gireg Desmeulles ([desmeulles@enib.fr](mailto:desmeulles@enib.fr))

Odile Bunoust ([odile.bunoust@ibgc.u-bordeaux2.fr](mailto:odile.bunoust@ibgc.u-bordeaux2.fr))

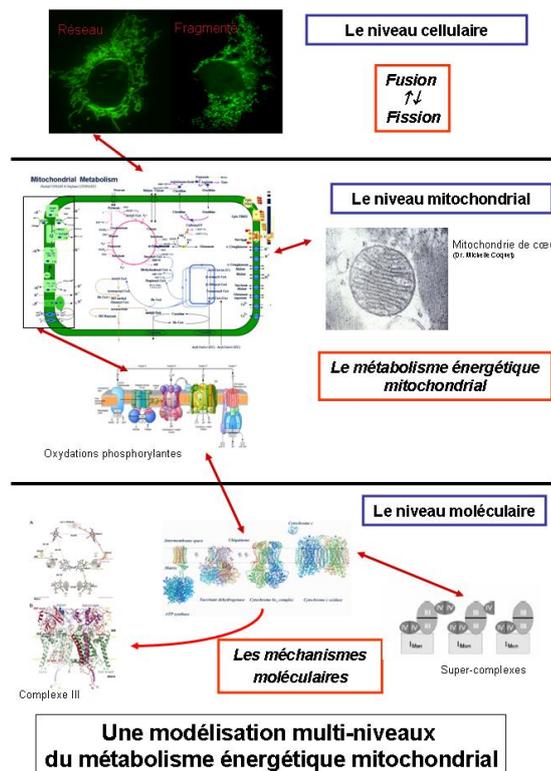
Les mitochondries jouent un rôle central dans le métabolisme énergétique aérobie des cellules eucaryotes. C’est pourquoi, elles ont fait l’objet de nombreuses études à tous les niveaux depuis le niveau moléculaire jusqu’au niveau cellulaire. En particulier, nous connaissons maintenant les composants de la chaîne respiratoire, leur architecture moléculaire, le détail des réactions d’oxydo-réduction qui ont lieu entre eux ou à l’intérieur même des complexes, les mécanismes par lesquels l’énergie libérée lors des réactions rédox est récupérée pour la phosphorylation de l’ADP en ATP. On connaît aussi les protéines qui gouvernent la fusion et la fission des mitochondries qui ont lieu dans le réseau mitochondrial en fonction de l’état énergétique des mitochondries. Ces études ont créé des îlots de connaissances isolés et on peut penser qu’il manque un cadre général théorique permettant de les relier. Le but de notre projet est d’adopter une approche de modélisation multi-niveaux qui utilise des techniques appropriés à la modélisation du métabolisme énergétique mitochondrial à chaque niveau et qui permette le passage explicite entre des niveaux adjacents. Notre modélisation s’appuie sur un ensemble important de données disponible dans les laboratoires faisant partie du projet ; des expériences complémentaires seront entreprises pour aider à la construction des modèles, à la détermination de paramètres et finalement au test des prédictions des modèles théoriques.

Les réactions redox des complexes de la chaîne respiratoire seront modélisées par une approche stochastique et par système multi-agents, les probabilités des différentes réactions dépendant de la structure tridimensionnelle connue des différents complexes en interaction. Une approche “gros grains” sera adoptée pour modéliser les interactions entre les complexes membranaires de la chaîne respiratoire y compris les associations pour former des super-complexes.

Le niveau intermédiaire est constitué par l’ensemble des réactions des oxydations phosphorylantes (chaîne respiratoire et synthèse d’ATP) dont le fonctionnement sera modélisé par un système d’équations différentielles utilisant des équations de vitesse empiriques pour chaque complexe. Ces équations empiriques seront de type michaelien réversible classique, avec un  $K_m$  pour chaque substrat et produit et des  $V_m$  pour les vitesses aller et retour ; la constante d’équilibre  $K_{eq}$  relie ces grandeurs cinétiques (relation de Haldane). Pour les complexes faisant intervenir un mouvement de protons à travers la membrane constituant de la force proton-motrice (différence de concentration en  $H^+$  et différence de potentiel de part et d’autre de la membrane interne mitochondriale), la force proton-motrice sera incorporée à la constante d’équilibre figurant dans la fonction de vitesse empirique. Le fonctionnement des oxydations phosphorylantes sera interfacé aux voies métaboliques centrales principales et aux transporteurs et navettes à travers la membrane mitochondriale interne afin de modéliser l’utilisation de différents sub-

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

strats respiratoires comme cela se passe réellement dans la cellule. Deux approches a priori différentes seront utilisées pour étudier la dynamique du réseau mitochondrial au niveau cellulaire en traduisant les deux tendances opposées de fusion et fission : une approche par équations aux dérivées partielles et une approche par système multi-agents. Une attention particulière sera apportée au passage entre les différents niveaux. Par exemple, le but ultime d’une modélisation stochastique au niveau moléculaire est de conduire à une modélisation stochastique complète des oxydations phosphorylantes rejoignant ainsi la modélisation par équations différentielles au niveau intermédiaire et permettant des comparaisons entre les deux types de modélisation et les passages entre les niveaux. Les différents types de modélisation seront aussi comparés et appliqués pour comprendre les différences tissulaires que l’on observe au niveau mitochondrial et qui sont bien documentées dans notre laboratoire (différents coefficients de contrôle des différents complexes dans différents tissus par exemple). Enfin notre modélisation permettra d’étudier les effets au niveau moléculaire ou au niveau cellulaire plus global (phénotypique) de différentes mutations telles qu’elles apparaissent dans un certain nombre de pathologies mitochondriales.



## 10 Laboratoire Jean Leray, Université de Nantes

**Auteur :** Yves Coudière [Yves.Coudiere@univ-nantes.fr](mailto:Yves.Coudiere@univ-nantes.fr)

Charles Pierre [charles.pierre@univ-pau.fr](mailto:charles.pierre@univ-pau.fr)

Rodolphe Turpault [Rodolphe.Turpault@math.univ-nantes.fr](mailto:Rodolphe.Turpault@math.univ-nantes.fr)

**Equipe :** Laboratoire Jean Leray, Université de Nantes

<http://www.math.sciences.univ-nantes.fr/>

### 10.1 Modèles et méthodes mathématiques en électrocardiologie

**Introduction** Les cardiologues ont aujourd’hui une idée très précise du fonctionnement électrique du cœur basée sur un modèle de source électrique dipolaire et des données éparses issues principalement de l’ECG (simple, bon marché). L’ECG est la mesure à la surface du thorax du champ électrique créé par l’activité électrique du cœur. Cette activité est issue de phénomènes biochimiques ayant lieu au niveau de la membrane cellulaire. Les cellules sont organisées en fibres musculaires, elles-mêmes organisées en tissus. Le cœur complet est un réseau de différents tissus, noeuds sinusal et atrioventriculaire, myocarde auriculaire et ventriculaire, réseau spécial de conduction. Par ailleurs, les rapports d’échelles de temps entre les phénomènes biochimiques et l’ECG sont de l’ordre de  $10^4$ .

**Modèles** Différents modèles peuvent être utilisés suivant ce que l’on recherche. On peut par exemple simuler l’électrocardiogramme (ECG), ou bien obtenir des cartes de potentiels endo ou epicardiaque. Les motivations peuvent être diverses : comprendre la formation de l’ECG, l’influence de la topologie du cœur, établir un diagnostic clinique, simuler l’ablation radiofréquence, la stimulation multisites, etc.

Dans sa version la plus complète, un modèle est basé sur des systèmes d’équations aux dérivées partielles et contient

1. un modèle ionique par grande famille de cellule (la description du fonctionnement électrochimique de la membrane) ;
2. un milieu continu, de type bidomaine ou monodomaine, pour représenter chaque tissu de manière idéalisée ;
3. une description du réseau de tissus et de leurs interactions ;
4. un modèle de thorax couplé à celui du cœur.

Actuellement, il manque essentiellement à ces modèles une bonne description du réseaux des tissus qui forment le cœur. Par ailleurs, leur simulation numérique reste très coûteuse, en particulier à cause de la grande variété d’échelles de temps et d’espaces présentes [3].

D’un autre côté, en simplifiant à l’extrême, l’activité du cœur est décrite par un modèle de source électrique du type dipôle mobile ou couches de dipôles mobiles. Il manque à ces modèles la description des mouvements des deux fronts de dépolarisation et repolarisation sur lesquels doivent être placés les dipôles. On remédie très partiellement à cela en faisant le lien avec les modèles précédents par un développement asymptotique (perturbation singulière) : la position d’un des

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

deux fronts apparaît alors comme la solution d’une équation eikonale ou de *level-set* [2]. La description donnée par ce modèle n’est pas encore satisfaisante, mais grâce aux algorithmes rapides de type *fast-marching*, ils s’adaptent aux contraintes temps réel que l’on rencontre en médecine clinique.

**Résultats, difficultés** C. Pierre a obtenu des résultats originaux de simulation des équations bidomaines pour la simulation de l’ECG, utilisant des modèles ioniques réalistes [7, 8]. Sur ce sujet nous collaborons avec Y. Bourgault, professeur de l’université d’Ottawa [4].

Mais construire et valider une méthode numérique véritablement efficace et précise pour ces modèles en 3D demeure un problème de calcul scientifique très actuel, autour des problématiques de l’approximation des équations de réaction-diffusion et du préconditionnement des grands systèmes linéaires creux. Nous collaborons activement avec Y. Bourgault de l’université d’Ottawa.

Nous avons testé l’algorithme du *fast-marching* sur des modèles simplifiés, et obtenu quelques résultats en collaboration avec une équipe de traitement d’image de l’INRIA (M. Sermesant ASCLEPIOS. Sur ce sujet, il reste un gros travail de modélisation à faire, pour comprendre comment obtenir un modèle plus précis et plus complet. C’est également dans ce domaine que nous avons le plus d’interaction avec la médecine clinique, grâce à nos collaborateurs du Cardiac MR Research Group, Guy’s Hospital, King’s College London (dont M. Sermesant est chercheur associé) [6].

**Collaboration, financements** Nous participons à l’action de recherche <http://www-sop.inria.fr/CardioSense3D/CS3D> (financement INRIA). Les échanges avec Y. Bourgault (université d’Ottawa) ont eu lieu grâce au soutien de l’université de Nantes et de l’université d’Ottawa (invitations), du CRM de Montréal (bourse de post-doctorat de C. Pierre), et du CNRS (post-doctorat de C. Olah).

Pour continuer nos travaux nous venons d’obtenir un financement de l’ANR pour le projet MOMME (Modèle et Méthodes Mathématiques en électrocardiologie), incluant en particulier des supports pour deux chercheurs post-doctorant à partir de septembre 2008.

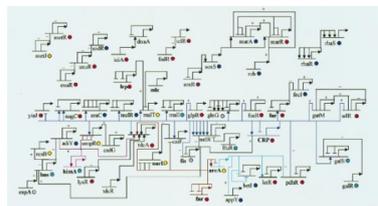


FIG. 17 – Le réseau de régulation génique dans E. Coli (tiré de l’article de M.M. Babu et S.A. Teichmann, Nucl. Acids Res. 31, 1234-1244 (2003)).

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

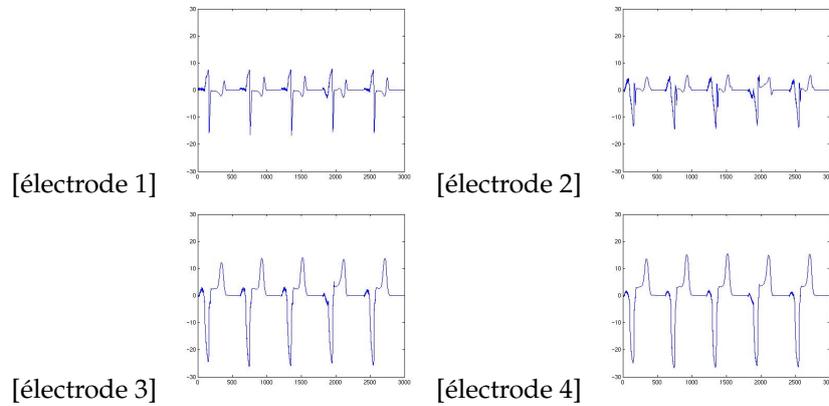


FIG. 19 – ECG, 2 stimuli, 100BPM

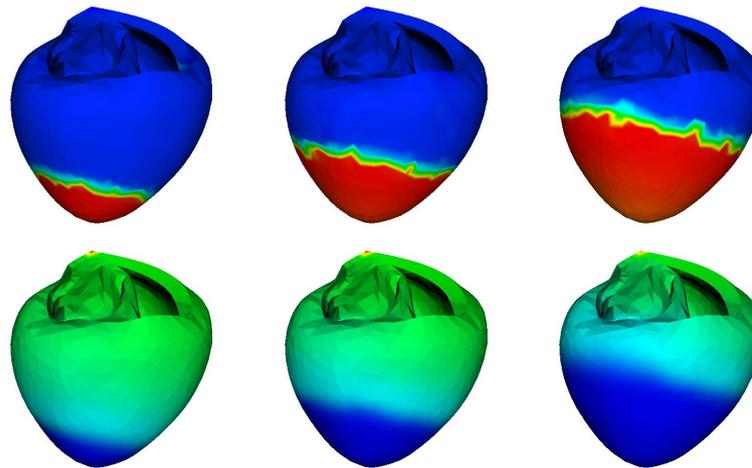


FIG. 18 – Exemple de calcul 3D

## 10.2 Autres Activités

Les chercheurs permanents Nantais participant aux activités du GDR MABEM se répartissent en 2 équipes,

1. d’une part J.P. Guillemet et R. Novikov qui s’intéressent à des problèmes inverses intervenant en tomographie ;
2. d’autre part Y. Coudière, N. Depauw et R. Turpault à propos de la modélisation et de la simulation de fonctionnement électrique du cœur.

Il faut ajouter A. Jollivet (thèse R. Novikov), C. Pierre (thèse Y. Coudière et F. Jauberteau) et C. Olah (Post-doctorante CNRS, Y. Coudière).  
Pour ces activités, le contact est Yves.Coudiere@univ-nantes.fr.

## Références

- [1] Colli Franzone, P. and Guerri, L. and Viganotti, C., *Oblique dipole layer potentials applied to electrocardiology*, J. Math. Biol., 1983.
- [2] Colli Franzone, P. and Guerri, L. and Magenes, E., *Oblique double layer potentials for the direct and inverse problems of electrocardiology*, Math. Biosci., 1984.
- [3] Colli Franzone, P. and Deuffhard, P. and Erdmann, B. and Lang, J. and Pavarino, L.F., *Adaptativity in space and time for Reaction-Diffusion Systems in Electrocardiology*, Konrad-Zuze-Zentrum für Informationstechnik Berlin, 2005.
- [4] Bourgault, Y and Coudière, Y and Pierre, C., *Existence and uniqueness of the solution for the bidomain model used in cardiac electrophysiology*, Nonlinear Analysis : Real World Application, 2007.
- [5] Pop, M. and Sermesant, M. and Coudière, Y. and Graham, J. and Bronskill, M. and Dick, A. and Wright, G., *A Theoretical Model of Ventricular Reentry and its Radiofrequency Ablation Therapy*, 2006 IEEE International Symposium on biomedical Imaging, 2006.
- [6] Sermesant, M. and Coudiere, Y. and Moreau-Villeger, V. and Rhode, K.S. and Hill, D.L. and Razavi, R.S., *A fast-marching approach to cardiac electrophysiology simulation for XMR interventional imaging*, Medical image computing and computer-assisted intervention - MICCAI 2005. 8th international conference, 2005.
- [7] Pierre, C., *Modélisation et simulation de l'activité électrique du coeur dans le thorax, analyse numérique et méthodes de volumes finis*, Université de Nantes, 2005.
- [8] Coudière, Y. and Pierre, C., *Stability and convergence of a finite volume method for two systems of reaction-diffusion equations in electro-cardiology*, Nonlinear Anal. Real World Appl., 2006.

## 11 Laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice-Sophia Antipolis

**Auteur :** Stéphane Descombes [Stephane.DESCOMBES@unice.fr](mailto:Stephane.DESCOMBES@unice.fr)

**Equipe :** Laboratoire J.A Dieudonné <http://math1.unice.fr/>

Au sein du laboratoire J. A. Dieudonné, de nombreux projets sont développés en collaboration avec des biologistes. Il existe même un pôle appelé "Pôle de Biologie Systémique de Nice" dirigé par Elisabeth Pécou, qui a pour vocation d'encourager la collaboration entre mathématiciens, informaticiens et biologistes de différents horizons de l'Université de Nice-Sophia Antipolis. Cette initiative a

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

débuté autour d'une collaboration scientifique active entre membres du Laboratoire de Mathématiques et de l'Institut de Signalisation, Biologie du Développement et Cancer (ISBDC). Son objectif est d'augmenter le nombre de laboratoires partenaires et de servir de pépinière de projets scientifiques. Voici notamment plusieurs projets développés actuellement par différents membres du laboratoire.

### 11.1 Modélisation de la suture dorsale chez la *Drosophile*. (S. Noselli, L. Almeida, A. Habbal)

Il s'agit d'une collaboration entre l'ISBDC (responsable du projet, S. Noselli) et le Laboratoire J.-A Dieudonné (responsable du projet, L. Almeida) pour étudier de nouveaux modèles mathématiques de réparation tissulaire en prenant comme source expérimentale un modèle bien connu : la suture dorsale chez les embryons de *drosophile*.

Il s'agit d'identifier les principes mécanobiochimiques, en vue de leur modélisation, qui régissent la dynamique cellulaire mise en jeu lors de la fermeture de la cicatrice. Deux problèmes type sont étudiés : (a) la dynamique des feuilletts monocouche de cellules épithéliales (MDCK, keratocytes, fibroblasts) pour lesquels des modèles de type Fisher-KPP ont été expérimentalement validés (pour le cas MDCK). (b) la fermeture dorsale chez la *drosophile*, modèle bien plus complexe que le précédent de par le nombre de phénomènes qu'il met en jeu (zipping, interactions amnioséreuse-épiderme, contraction de la marge, etc.) Des modèles géométriques de la fermeture et un modèle mécanique de réseaux de filaments d'actine qui se contractent sous l'effet de moteurs moléculaires (myosine II) (approximation quasi-statique et élasticité linéaire) sont en développement.

1. Rousset R, Almeida L, Noselli S. Dorsal closure, forces for morphogenesis, *Med Sci (Paris)*. 2003 Aug-Sep ;19(8-9) :785-7.
2. Rousset R, Almeida L, Noselli S. *Drosophila* morphogenesis : the Newtonian revolution. *Curr Biol*. 2003 Jun 17 ;13(12) :R494-5.

### 11.2 Modélisation de la voie hypoxique.(J. Pouysségur, E. Pécou, P.-E. Jabin)

Ce projet concerne la modélisation de la réponse des cellules cancéreuses à un stress hypoxique (manque d'oxygène). Cette situation est fréquente car la prolifération implique un éloignement et un appauvrissement de la densité des vaisseaux sanguins porteurs d'oxygène. Le métabolisme réagit au travers d'un facteur de transcription HIF (Hypoxia Inducible Factor) qui contrôle l'expression d'un grand nombre de gènes adaptatifs, comme, par exemple, VEGF ou EPO pour l'angiogénèse. Nos collaborateurs à l'ISBDC travaillent à la compréhension de la régulation complexe de HIF (Dayan et al.(2004)). Sur la base de leurs résultats biologiques, nous avons conçu un modèle mathématique qui reproduit la réalité expérimentale. Le modèle est suffisamment simple pour nous permettre d'extraire l'expression analytique des états d'équilibre, à partir de laquelle nous avons extrait des paramètres significatifs pour le comportement qualitatif du système.

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Nous avons pu déterminer ces paramètres et certains autres permettant de faire coïncider les courbes expérimentales et théoriques.

1. Pouyssegur J, Dayan F, Mazure NM., Hypoxia signalling in cancer and approaches to enforce tumour regression. *Nature*. 2006 May 25 ;441(7092) :437-43.
2. Dayan F, Roux D, Brahimi-Horn MC, Pouyssegur J, Mazure NM. The oxygen sensor factor-inhibiting hypoxia-inducible factor-1 controls expression of distinct genes through the bifunctional transcriptional character of hypoxia-inducible factor-1alpha. *Cancer Res*. 2006 Apr 1 ;66(7) :3688-98.

### 11.3 Dynamique des ondes électriques dans le milieu cardiaque et description mathématique de cascades enzymatiques (A. Pumir)

La problématique de la dynamique des ondes électriques dans le milieu cardiaque est importante d'un point de vue médical, dans la mesure où les régimes chaotiques de propagation de ces ondes sont à l'origine des arythmies, causes de mortalité. D'un point de vue clinique, l'application de champs électriques (‘pacing’, défibrillateurs) constitue le principal moyen d'arrêter les arythmies. La compréhension des mécanismes d'interaction entre un champ électrique et les ondes cardiaques fait l'objet de recherches menées au JAD, en coopération avec des équipes expérimentales (Université Cornell, Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen).

La description mathématique de cascades enzymatiques est un autre sujet d'intérêt. L'exemple étudié au JAD est celui de la phototransduction chez les invertébrés. Un modèle réaliste, basé en grande partie sur les informations biochimiques disponibles, a été proposé ; les prédictions du modèle permettent de comprendre de manière synthétique comment le processus biologique fonctionne.

### 11.4 Bio-locomotion (M. Argentina)

M. Argentina travaille notamment sur des problèmes du type interaction fluide-structure. Le fil conducteur de cette recherche est l'application à des thèmes liés à la bio-locomotion. En travaillant sur l'instabilité du drapeau qui bat dans un vent suffisamment fort, il s'est aperçu que la compréhension de la dynamique d'une structure élastique libre de se mouvoir dans un écoulement de fluide permettait d'appréhender la thématique de la nage de poissons. L'idée serait de remplacer le drapeau par une structure qui imite le forçage musculaire des animaux marins. Il s'intéresse aussi à la bio-locomotion de petits organismes pour lequel la mécanique des fluides peut être assimilée à celle du miel, ce qui simplifie grandement l'analyse. Dans cet axe-là, il a proposé un modèle de locomotion pour des nématodes (petit vers qui se déplacent dans des milieux humides).

### 11.5 Dynamique des populations, chimiotactisme (P-E Jabin)

P-E Jabin s'intéresse notamment à des problèmes de dynamique des populations. Dans le cadre de l'immunologie, les populations concernées sont constituées des cellules immunitaires, des cellules tumorales (éventuellement différenciées par leur agressivité) et des cellules endothéliales. En collaboration avec I. Brazzoli et E. De Angelis, il essaye actuellement de dériver des modèles manifestant naturellement des oscillations dans le nombre ou l'activité des cellules immunitaires, ce qui est effectivement observé.

Une autre question, abordée avec N. Champagnat, concerne la répartition des traits dans une population d'individus avec naissances, morts et mutations. Le problème principal est l'apparition du dimorphisme : population où tous les individus ont sensiblement le même trait qui évolue vers deux sous-populations. Les effets dus à la taille finie de la population sont également cruciaux.

Enfin avec M. Rigot, il a pu estimer assez simplement la vitesse d'explosion des solutions pour certains modèles simples de chimiotactisme de type Keller-Segel.

## 12 IMTh : ENS Lyon et Institut Camille Jordan

**Auteur :** Emmanuel Grenier [Emmanuel.GRENIER@umpa.ens-lyon.fr](mailto:Emmanuel.GRENIER@umpa.ens-lyon.fr)  
et Violaine Louvet [louvet@math.univ-lyon1.fr](mailto:louvet@math.univ-lyon1.fr)

**Equipe :** ENS-Lyon <http://www.umpa.ens-lyon.fr/index.php>  
Institut de Médecine Théorique (IMTh) <http://imth.univ-lyon1.fr/>  
Institut Camille Jordan <http://math.univ-lyon1.fr/>

Le but de la collaboration au sein de l'IMTh de mathématiciens de l'ENS Lyon et de l'Institut Camille Jordan vise à aider les médecins dans la compréhension de certains phénomènes, en analysant les modèles et en construisant des outils permettant l'application à la pharmacologie et aux essais cliniques.

Plusieurs projets de recherche sont en cours, mettant en oeuvre à la fois des problèmes de complexité spatiale et temporelle, de paramétrisation des modèles, d'interactions entre modèles. Nous présentons ici quelques exemples de travaux en cours.

### 12.1 Modélisation des AVC

Les mécanismes physiopathologiques mis en jeu lors d'un accident vasculaire cérébral ischémique (AVCi) sont nombreux et complexes. De nombreuses études *in vitro* et *in vivo* (chez l'homme et chez le rongeur) ont permis de collecter un grand nombre de données et de connaissances sur ces mécanismes. Nous proposons d'élaborer un modèle mathématique multi-échelle prenant en compte les principaux mécanismes moléculaires, cellulaires et tissulaires mis en jeu dans les heures qui suivent le début d'un AVCi. Ce modèle sera composé de huit sous-modèles représentant les phénomènes suivants : réactions métaboliques, mouvements ioniques, développement de l'œdème cytotoxique, excitotoxicité du glutamate, propagation d'ondes de dépolarisation, synthèse de radicaux libres, réac-

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

tion inflammatoire et mort cellulaire (nécrose/apoptose). Plusieurs de ces sous-modèles ont déjà été élaborés et validés au cours de collaborations précédentes par les équipes impliquées dans ce projet. Dans le cadre de ce projet, il s’agit d’améliorer les modèles existants, d’élaborer les autres sous-modèles et de permettre une bonne intégration de l’ensemble de ces sous-modèles dans le modèle global en tenant compte des différences d’échelles (spatiales et temporelles). Chacun de ces sous-modèles a été ou sera validé par comparaison des résultats de simulation avec les résultats d’expériences *in vitro* et *in vivo* et la validation du modèle global s’effectuera en utilisant des images d’IRM obtenues chez le rongeur et chez l’homme lors d’une ischémie cérébrale aiguë.

Ce travail de modélisation vise plusieurs retombées. Tout d’abord, l’intégration de ces différents mécanismes dans un modèle global va permettre d’étudier *in silico* les interactions entre ces mécanismes ainsi que leurs influences respectives sur la mort des cellules cérébrales lors d’un AVCi. De plus, le modèle prendra en compte des caractéristiques espèce-dépendantes telles que des éléments d’anatomie et d’histologie cérébrale. Cela permettra d’étudier l’influence des différences cérébrales homme/rongeur sur l’extension et la sévérité des dommages ischémiques. Enfin, ce modèle servira à réaliser des expériences *in silico* simulant une action agoniste ou antagoniste sur des cibles thérapeutiques potentielles. Jusqu’à ce jour, les stratégies neuroprotectrices développées n’ont pas montré d’efficacité thérapeutique lors des essais cliniques alors qu’elles avaient donné des résultats très prometteurs sur le rongeur lors des études précliniques. Le modèle va permettre d’étudier *in silico* l’effet de différents agents neuroprotecteurs chez l’homme et chez le rongeur et cela dans le but d’aider à la compréhension des échecs des essais cliniques et de participer à l’innovation thérapeutique dans ce domaine.

### 12.2 Modélisation du rôle de l’élastine

Ces travaux concernent la modélisation du rôle de l’élastine sur les propriétés mécaniques de la paroi vasculaire. L’élastine est une composante essentielle des fibres élastiques qui représentent l’élasticité des artères, et un régulateur de cellules musculaires lisses vasculaires (CMLVs), qui est essentielle au développement et au maintien de l’homéostasie de la paroi artérielle. La diminution de l’élastine provoquée par la microdélétion du gène de l’élastine semble être responsable de la pathologie vasculaire la plus importante en terme de mortalité chez les enfants atteints du syndrome de Williams et Beuren (SWB). La pathologie vasculaire affecte la totalité de l’artère, caractérisée par la sténose et une paroi épaissie avec un dysfonctionnement vasculaire secondaire (rigidité). La quantité et / ou les modifications structurelles de l’élastine, ainsi que du collagène et des CMLVs, semble avoir une influence sur l’épaisseur et les propriétés mécaniques de l’artère. Il est donc vraisemblable de faire l’hypothèse que la restauration de l’élastine pourrait agir sur la structure et sur les propriétés mécaniques de la paroi vasculaire. Notre projet est de construire un modèle *in silico* pour se faire une idée du rôle de l’élastine sur la géométrie (épaisseur de la paroi artérielle) et sur les propriétés biomécaniques (indice de rigidité artérielle, c’est-à-dire compliance, distensibilité, vitesse de l’onde de pouls (PWV) ...) de l’artère (carotide, fémorale

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

ou brachiale) en réponse à la carence en élastine chez SWB. Le modèle est motivé par l’hypothèse que la quantité d’élastine est corrélée avec l’épaisseur de la paroi et des propriétés biomécaniques. Ce modèle sera utilisé pour prédire les conséquences thérapeutiques de la restauration de l’élastine. La prévisibilité du modèle *in silico* sera validée et améliorée en utilisant les résultats de l’expérimentation animale et de l’essais clinique du minoxidil chez les enfants SWB. Il permettrait d’établir une nouvelle stratégie thérapeutique pour les enfants SWB souffrant de maladies vasculaires. Le modèle *in silico* a aussi pour but de comprendre la réponse de la paroi artérielle en fonction de sa composition. Ce modèle est également important pour l’étude de la rupture de plaque d’athérose, présentée ci-dessous.

### 12.3 Rupture de plaque

Les événements coronariens aigus sont le plus souvent responsable d’une mortalité importante chez les patients atteints de maladie cardiaque. Ils sont le plus souvent dus à une rupture de plaque d’athérosclérose, conséquence de la thrombose. La rupture de plaque semble être fonction à la fois de la composition de la plaque mais aussi de mécanismes externes.

Le but de cette étude est de comprendre l’effet thérapeutique d’un médicament (l’ivabradine) sur cette rupture. Ce médicament a pour conséquence un ralentissement du rythme cardiaque.

La modélisation de ce phénomène est complexe puisqu’elle met en jeu à la fois un problème d’interaction fluide-structure, un problème de fatigue et la nécessité de bien comprendre la réponse de la paroi artérielle à la pression sanguine, avec et sans plaque. Ce point utilise les modèles étudiés dans le projet précédent.

## Références

- [1] Chapuisat G. *Existence and non-existence of curved front solution of a biological equation*. Journal of Differential Equations 2007 ; 236 (1) : 237-279
- [2] Dronne MA, Grenier E, Dumont T, Hommel M, Boissel JP. *Role of astrocytes in grey matter during stroke : a modelling approach*. Brain Res. 2007 Mar 23 ; 1138 : 231-42
- [3] Dronne M.A., Boissel J.P. and Grenier E. *A mathematical model of ion movements in grey matter during a stroke*. Journal of Theoretical Biology 2006 ; 240 (4) : 599 - 615
- [4] Boissel JP, Cucherat M, Nony P, Dronne MA, Kassai B, Chabaud S. *New approaches in pharmacology : numerical modelling and simulation*. Therapie 2005 Jan-Feb ; 60(1) : 1-15
- [5] Chapuisat G, Grenier E. *Existence and non-existence of travelling wave solutions for a bistable reaction-diffusion equation in an infinite cylinder whose diameter is suddenly increased*. Communications in Partial Differential, Equations 2005, 30 : 1805-1816
- [6] Dronne M.A., Boissel J.P., Grenier E., Gilquin H., Cucherat M., Hommel M., Barbier E. and Bricca G. *Mathematical modelling of an ischemic stroke : an integrative approach*. Acta Biotheoretica 2004 ; 52 : 255-272

---

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

- [7] Chuong CJ and Fung YC. *Three-dimensional stress distribution in arteries*, J Biomech Eng, vol 105, pp 268-274, 1983.
- [8] Holzapfel GA and Gasser TC. *A new constitutive framework for arterial wall mechanics and a comparative study of material models*, J of Elasticity, vol 61, pp 1-48, 2000.
- [9] Zulliger MA, Fridez P, Hayashi K, Stergiopoulos N. *A strain energy function for arteries accounting for wall composition and structure*, J of Biomechanics, vol 37, pp 989-1000, 2004.
- [10] Zulliger MA, Rachev A, Stergiopoulos N. *A constitutive formulation of arterial mechanics including vascular smooth muscle tone*, Am J Physiol Heart Circ Physiol, vol 287, pp 1335-1343, 2004.

## 13 Laboratoire de Mathématiques, Université de Paris Sud

**Auteur :** Bertrand Maury [Bertrand.Maury@math.u-psud.fr](mailto:Bertrand.Maury@math.u-psud.fr)  
**Equipe :** Lab. de Mathématique d’Orsay <http://www.math.u-psud.fr/>

### 13.1 Modélisation du poumon humain

*L. Baffico (Caen), C. Grandmont (INRIA Rocquencourt), B. Maury, S. Martin, A. Soualah, C. Vannier (Orsay)*

L’arbre bronchique peut être, schématiquement, divisé en trois parties : les voies aériennes supérieures, les bronches segmentaires et bronchioles, et les acinis entourés du parenchyme. Cette dernière zone est particulièrement importante à décrire car il s’agit du “moteur” de la respiration. Chacune de ces zones possède ses spécificités géométriques et mécaniques qui peuvent permettre de les modéliser : dans la partie supérieure le fluide peut être décrit par les équations de Navier-Stokes. Dans la deuxième zone l’écoulement peut être considéré comme laminaire et décrit par les équations de Stokes stationnaires, la dernière partie étant le siège de phénomènes d’interaction fluide-structure (gonflement des alvéoles pulmonaires au cours de la respiration).

Cette décomposition permet la simulation de cycles respiratoires avec données réalistes en limitant la partie coûteuse du calcul (résolution des équations de Navier-Stokes) à la zone où elle est vraiment nécessaire (la partie supérieure de l’arbre). Par ailleurs, les modèles de résistances équivalentes utilisés pour les bronches distales permettent d’étudier l’effet sur l’écoulement dans son ensemble de perturbations de la géométrie des bronches distales (conséquence à une crise d’asthme, par exemple). Sur le plan théorique, le modèle prend la forme d’un système de Navier-Stokes avec des conditions aux limites non standard (sur les sorties de l’arbre supérieur, au niveau des troncutures artificielles) qui mêlent tenseur des contraintes fluide et flux global. La nature dissipative des phénomènes modélisés (écoulement de Stokes au travers des sous arbres distaux) nous permet

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

d’obtenir des résultats d’existence et d’unicité pour données petites.

Par ailleurs, en collaboration avec Thomas Similowski et Christian Straus (Service de Pneumologie et Réanimation, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière), nous nous intéressons à l’impact des caractéristiques mécaniques de l’arbre bronchique et du parenchyme pulmonaire sur les échanges gazeux dans le poumon humain. En particulier, le rôle du muscle lisse bronchique est imparfaitement compris. Ce rôle pourrait être en partie structurel, pour conférer à l’arbre bronchique des caractéristiques mécaniques compatibles avec un transport optimal de l’air inspiré vers les zones d’échange. Afin de tester cette hypothèse, nous élaborons des modèles permettant de prévoir d’une part le comportement du système durant une situation dynamique complexe (les manoeuvres inspiratoire et expiratoire forcées qui sont réalisées lors d’examen spirométriques) et d’autre part l’absorption de l’oxygène au niveau alvéolaire. Les effets de modifications des paramètres du modèle mécanique sur le modèle d’absorption sont l’objet d’effets contradictoires qui peuvent permettre d’accréditer la thèse du rôle structurel du muscle lisse bronchique destiné à optimiser les propriétés convectives de l’arbre bronchique.

Par ailleurs, une compréhension plus fine de l’action du muscle lisse, dans une perspective d’amélioration des traitements de certaines maladies obstructives (asthme par exemple), nécessite la modélisation d’un phénomène important, le colabage des bronches (réduction de la lumière bronchique), afin d’en étudier les effets. Cette étude est en cours.

## 14 Projet Reo

**Auteur :** Jean Frédéric Gerbeau [jf.gerbeau@gmail.com](mailto:jf.gerbeau@gmail.com)

**Equipe :** Projet REO

<http://www.inria.fr/recherche//equipes/reo.fr.html>

Nous nous intéressons à la modélisation mathématique et à la simulation numérique de quelques aspects des systèmes cardiovasculaire et respiratoire. Nous ne traitons ici que du système cardiovasculaire. Les travaux de l’équipe sur le système respiratoire ont été réalisés en grande partie avec Bertrand Maury et ses collaborateurs et sont présentés en section 13.

### 14.1 Interaction fluide-structure dans le système cardiovasculaire

L’interaction fluide-structure est incontournable dans la simulation du système cardiovasculaire : rappelons que les parois des artères sont élastiques et se déforment sous l’effet de l’écoulement du sang, que le coeur comporte diverses valves, que l’écoulement dans les coronaires est fortement influencé par les déformations du myocarde, *etc.*

Les problèmes d’écoulements dans les artères ont été très stimulants pour la communauté intéressée par les algorithmes de couplage fluide-structure. Les schémas

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

développés dans d’autres contextes (génie civil, aéronautique) sont en effet très mal adaptés à ce type de problème et les alternatives « naïves » sont particulièrement inefficaces. Plus précisément, des schémas ayant fait leur preuve dans d’autres domaines conduisent pour les écoulements sanguins à des instabilités surprenantes (par exemple indépendantes des paramètres de discrétisation) [1]. Depuis le début des années 2000, une littérature abondante a été consacrée au développement de nouveaux algorithmes et des progrès très significatifs ont été réalisés, à la fois dans la compréhension des problèmes observés numériquement et dans leur résolution [3, 4, 7].

Malgré les avancées des dernières années, de nombreux problèmes importants pour les applications ne sont encore que très peu traités : citons en autre le couplage à des phénomènes biochimiques, l’assimilation des données cliniques (imagerie médicale, mesures de pression, etc.), l’adaptation de la précision des modèles à la précision des données, l’utilisation de bases de données cliniques dans les outils de simulations, etc.

Ces difficultés rendent pour l’instant délicate l’application de la simulation numérique d’écoulements sanguins à des problèmes cliniques. Cependant, d’autres applications peuvent être envisagées, en particulier en bio-ingénierie. Par exemple, nous collaborons avec la société Cardiatix qui a imaginé un nouveau procédé pour soigner des anévrismes cérébraux : il s’agit d’une sorte de petit ressort, appelé *stent* (qu’on utilise généralement pour rétablir la lumière d’artères bouchées) qui est placé à l’entrée de l’anévrisme dans le but de l’obstruer avec un caillot sanguin. Pour obtenir une autorisation de mise sur le marché, une société développant ce type de dispositifs doit désormais produire des résultats de simulations [2] en complément des expériences *in vivo*. L’utilisation de la simulation numérique dans ces domaines va donc nécessairement s’amplifier.

14.2 Activité électrique du coeur

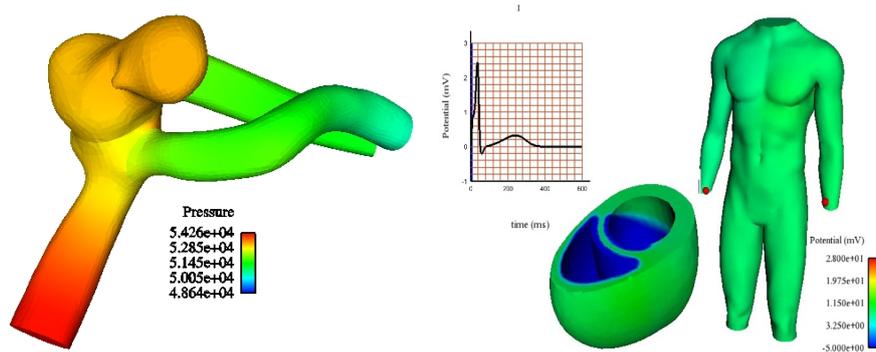


FIG. 20 – A gauche : un anévrisme cérébral. A droite : couplage électrique coeur/thorax et première dérivation d’un électrocardiogramme  
Le projet REO s’intéresse également à divers aspects de la modélisation du coeur dans le cadre d’une action d’envergure nationale de l’INRIA intitulée Cardio-

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Sense3D<sup>2</sup> constituée des projets Asclepios, Macs, Reo et Sisyphe. Le but de l’action est de développer des modèles mécaniques, électriques et métaboliques du coeur, utilisables à des fins cliniques.

La modélisation de l’activité électrique du coeur consiste en un système d’EDP de réaction-diffusion, non linéaire, parabolique dégénéré, couplé à un système d’EDO représentant l’activité ionique des cellules cardiaques [5]. Les options de modélisation sont très nombreuses : modèles de cellules (on en connaît plus d’une trentaine), fibres cardiaques, hétérogénéité cellulaire, couplage avec les tissus environnants, *etc.* Les choix sont délicats et dépendent naturellement de l’objectif du modèle. Notre démarche a été de construire un modèle suffisamment simple pour limiter le nombre de paramètres et suffisamment complexe pour pouvoir produire des électrocardiogrammes numériques assez réalistes pour être soumis à l’oeil critique d’un clinicien [6].

Le calcul du potentiel électrique cardiaque ainsi obtenu sert de variable d’entrée à un modèle mécanique développé dans les projets Macs et Sisyphe de l’INRIA.

Donnons pour finir un exemple d’application clinique potentielle. Une désynchronisation des parties droite et gauche du coeur entraîne une diminution de son efficacité. Pour pallier ceci, une technique consiste à stimuler plusieurs points du myocarde à l’aide d’un pacemaker. Le choix de ces points ainsi que le réglage des instants de stimulation sont des questions cliniques encore essentiellement ouvertes. Un modèle électromécanique et des algorithmes d’optimisation permettent d’aborder ce problème par la simulation (voir [8] pour des résultats préliminaires). Cette étude fait l’objet d’une collaboration avec la société ELA Medical.

## Références

- [1] Causin, P. and Gerbeau, J.-F. and Nobile, F. *Added-mass effect in the design of partitioned algorithms for fluid-structure problems*. Comp. Meth. Appl. Mech. Engng., 2005.
- [2] Fernandez, M.A. and Gerbeau, J.-F. and Martin, V. *Numerical simulation of blood flows through a porous interface*. Rapport INRIA, 2007.
- [3] Figueroa, C.A. and Vignon-Clementel, I.E. and Jansen, K.E. and Hughes, T.J.R and Taylor, C.A. *A Coupled Momentum Method for Modeling Blood Flow in Three-dimensional Deformable Arteries*. Comp. Meth. Appl. Mech. Engng., 2006.
- [4] Fernández, M. A. and Gerbeau, J.-F. and Grandmont, C. *A projection semi-implicit scheme for the coupling of an elastic structure with an incompressible fluid*. Internat. J. Numer. Methods Engrg., 2007.
- [5] Boulakia, M. and Fernández, M.A. and Gerbeau, J.-F. and Zemzemi, N. *A coupled system of PDEs and ODEs arising in electrocardiograms modelling*. Rapport INRIA 2007.

<sup>2</sup>Voir le site <http://www-sop.inria.fr/CardioSense3D/> ainsi que le film de vulgarisation scientifique <http://www-c.inria.fr/Internet/ressources/multimedia/le-coeur-numerique>

---

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

- [6] Boulakia, M. and Fernández, M.A. and Gerbeau, J.-F. and Zemzemi, N. *Towards the numerical simulation of electrocardiograms*. Functional Imaging and Modeling of the Heart, 2007.
- [7] Burman, E. and Fernández, M.A. *Stabilized explicit coupling for fluid-structure interaction using Nitsche’s method*. C. R. Acad. Sci. Paris Sér. I Math., 2007.
- [8] El Alaoui, L. and Dumas, L. *How Genetic Algorithms can improve a pacemaker efficiency*. GECCO 2007.

## 15 Projet Sisyphe

**Auteur :** Frédérique Clément [Frederique.Clement@inria.fr](mailto:Frederique.Clement@inria.fr)  
**Equipe :** Projet SISYPHE (Signals & SYstems in PHysiology & Engeneering)  
<http://www-rocq.inria.fr/sisyphe/>

L’équipe SISYPHE travaille sur des problèmes de modélisation, contrôle et observation de systèmes dynamiques, générés par des applications relevant de la Physiologie et de la Médecine<sup>3</sup>.

### 15.1 Modélisation multi-échelles de l’axe gonadotrope

*Contact :* Frédérique Clément, [Frederique.Clement@inria.fr](mailto:Frederique.Clement@inria.fr)

Ces recherches se font en collaboration avec l’UMR 6175 « Physiologie de la Reproduction et des Comportements » (PRC) du centre INRA de Tours (<http://wcentre.tours.inra.fr/prc/>), dans le cadre du groupe de travail REGATE (REGulation de l’axe GonAdoTropE, <http://www-rocq.inria.fr/who/Frederique.Clement/reglo.html>).

#### Processus de sélection des follicules ovulatoires

Nous avons développé un modèle multi-échelles du processus de sélection des follicules ovulatoires, prenant en compte les niveaux cellulaire, folliculaire et ovarien [1]. Ce modèle dérive de la double structuration en âge (position dans le cycle cellulaire) et maturité (degré de sensibilité au contrôle hormonal) des populations cellulaires constituant les follicules ovariens. Ces populations sont donc caractérisées par des fonctions de densité, dont l’évolution est régie par une loi de conservation. La structure multi-échelles en boucle fermée provient de ce que la formulation du contrôle hiérarchique agissant sur les termes de vitesse et les termes source de cette loi sont définis à partir des moments de la densité et sont donc de nature intégro-différentielle. Par ailleurs, les conditions de déclenchement

---

<sup>3</sup>ainsi que de l’Ingénierie, mais cet aspect ne sera pas développé ici

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

de l’ovulation (ou plus exactement de la décharge ovulatoire), ainsi que le dénombrement des follicules ovulatoires définissent deux problèmes d’atteignabilité couplés, définis respectivement à l’échelle ovarienne et à l’échelle folliculaire [2]. L’issue de la sélection résulte du jeu subtil d’interactions entre les organes de l’axe gonadotrope (hypothalamus, hypophyse et ovaires).

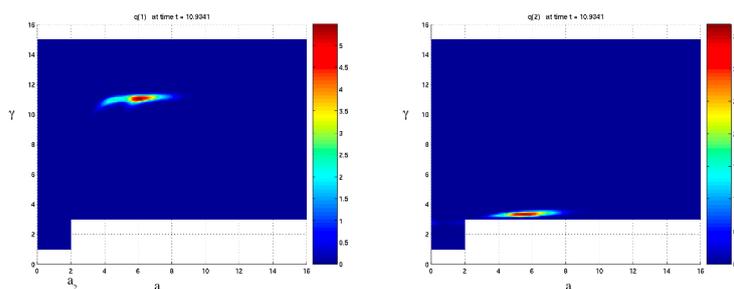


FIG. 21 – Densités cellulaires de deux follicules ovariens en développement

**Modélisation de la dynamique de sécrétion du GnRH**

Nous avons proposé un modèle de couplage entre le réseau de neurones à GnRH et les interneurons s’inscrivant dans le formalisme du couplage d’oscillateurs non linéaires et des dynamiques lentes-rapides. Chacun des deux réseaux est représenté par le comportement d’un « neurone moyen » décrit par un système de Van der Pol. Les projections des interneurons sur les neurones à GnRH sont représentées par un terme de couplage unidirectionnel. Le mécanisme mathématique sous-jacent à la transition entre régime pulsatile de sécrétion et décharge réside dans la survenue périodique de bifurcations de Hopf dans le sous-système rapide représentant les neurones à GnRH (à 2 équations), sous le contrôle du sous-système lent représentant les interneurons. Le comportement qualitatif du modèle capte aussi d’autres propriétés, telles que la survenue d’une pause après la décharge et l’accélération de fréquence en mode pulsatile, qui peuvent être expliquées par l’analyse de la séquence complète de bifurcations dans le système complet (à 4 équations) [3].

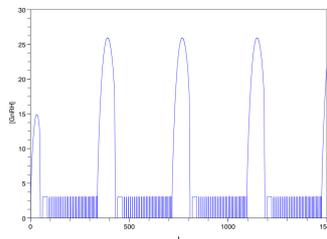


FIG. 22 – Dynamique de sécrétion du GnRH

### Biologie intégrative de la signalisation du récepteur à FSH

Cette problématique s’inscrit dans le cadre du projet INSIGHT (INtegrative SIgnalling of the follicle stimulating Hormone recepTor, <http://contraintes.inria.fr/~heitzler/INSIGHT/Home.html>). Dans le cadre de l’environnement BIOCHAM (BIOChemical Abstract Machine, <http://contraintes.inria.fr/BIOCHAM/>), nous attribuons une sémantique précise aux réseaux d’interactions biomoléculaires impliquées dans la signalisation intracellulaire de FSH, à deux niveaux d’abstraction : le niveau qualitatif booléen décrivant la présence ou l’absence de molécules (formalisation du graphe d’interactions) et le niveau quantitatif des concentrations moléculaires (temporisation du réseau, formulation à base d’équations différentielles ordinaires). Dans les deux cas, la logique temporelle (propositionnelle ou avec contraintes numériques) est utilisée pour formaliser les propriétés biologiques connues du système et issues des expériences. Des requêtes de logique temporelle permettent d’interroger le graphe d’interactions et de le valider en regard des données qualitatives et quantitatives disponibles ou acquises sur les cellules cibles de la FSH (notamment les cellules de granulosa chez la femelle et les cellules de Sertoli chez le m $\sqrt{le}$ ).

### 15.2 Analyse de signaux du système cardiovasculaire à base de modèles

Contact : Michel Sorine, [Michel.Sorine@inria.fr](mailto:Michel.Sorine@inria.fr) - Ces recherches s’inscrivent dans l’action d’envergure nationale CardioSense3D de l’INRIA (<http://www-sop.inria.fr/CardioSense3D/>).

#### Analyse de signaux par Scattering Transform : Application à l’analyse des signaux de pression artérielle

Dotés de propriétés exceptionnelles, les solitons sont utilisés dans différents domaines (hydrodynamique, fibres optiques, transmission et communication etc.) pour modéliser des phénomènes naturels et décrire le comportement de certains systèmes physiques. La théorie des solitons offre également des outils performants tels que les transformées scattering directe et inverse que nous proposons d’exploiter pour la reconstruction et l’analyse de signaux. Nous proposons ainsi une méthode originale d’analyse de signaux basée sur la théorie scattering (SBSA) et bien adaptée au cas d’ondes progressives. L’idée consiste à résoudre un problème spectral lié à un opérateur de Schrödinger à une dimension et perturbé par un potentiel qui dépend du signal que l’on désire analyser. L’objectif est d’approcher ce potentiel par son spectre discret uniquement. Ce dernier est associé aux composantes d’un N-soliton en interaction qui constituent les composantes élémentaires de l’approximation. La méthode est analogue à une transformée de Fourier classique où les solitons jouent le rôle des sinus et cosinus. Cette technique a été validée à travers quelques exemples théoriques et expérimentaux tels que l’identification d’un N-soliton, solution d’une équation de Korteweg-de Vries et la reconstruction d’un certain nombre de signaux pratiques. Une application

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

intéressante de cette méthode concerne la reconstruction et l’analyse des ondes de pression artérielle que nous effectuons en collaboration avec des médecins. Des résultats prometteurs ont été obtenus concernant l’étude de la variabilité des paramètres calculés à partir de cette approche qui semblent contenir des informations physiologiques importantes [4]. Cette méthode permet également de décomposer l’onde de pression en ses parties rapide et lente qui correspondent respectivement aux phases systolique et diastolique ; ce qui peut être d’un grand intérêt clinique.

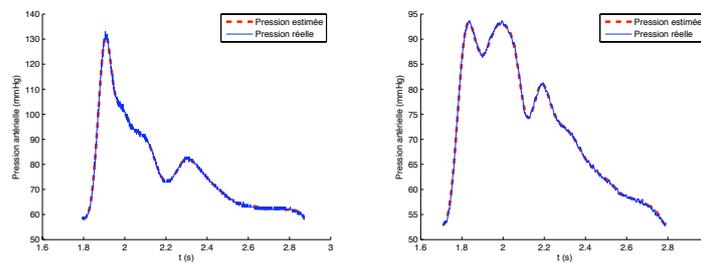


FIG. 23 – Reconstruction d’un signal de pression artérielle (schéma Taous-Meriem Laleg)

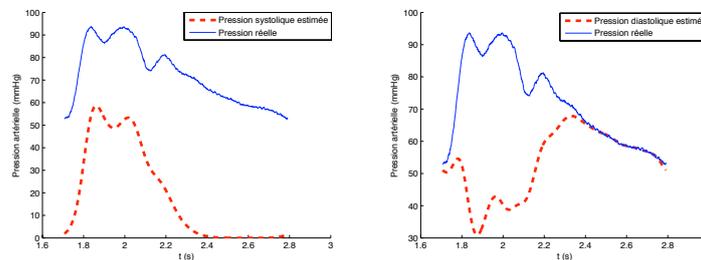


FIG. 24 – Séparation des phases systolique et diastolique (schéma Taous-Meriem Laleg)

**Modélisation de l’activité électrique cardiaque**

La contraction du muscle cardiaque est commandée par le potentiel d’action qui représente l’activité électrique cardiaque à l’échelle cellulaire. Plusieurs travaux dans la littérature sont consacrés à la modélisation de cette activité. Cependant, les modèles existants sont très compliqués (plus de 20 variables d’état) et ne peuvent représenter qu’un seul type de cellule cardiaque. Nous avons développé un modèle moins complexe (8 variables d’état) basé sur un modèle physiologique de membrane auquel nous avons greffé un modèle de compartiments pour le calcium intracellulaire. Les résultats de simulations obtenus montrent que le modèle développé permet de reproduire l’activité électrique pour plusieurs types

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

de cellules cardiaques [5]. En outre, une analyse topologique du modèle dans le cas des cellules du nœud sinusal a été faite. Les diagrammes de bifurcations élaborés nous ont permis de comprendre l'origine de l'activité pacemaker. Par ailleurs, nous nous sommes aussi intéressés aux modèles phénoménologiques de membrane. Ces derniers ont l'avantage d'être moins complexes et peu coûteux en terme d'implémentation (au plus 3 variables d'état). En particulier, nous avons porté notre intérêt sur le modèle de Mitchell & Shaeffer qui est utilisé pour représenter l'activité électrique dans le cas des cellules non-pacemaker. Ce modèle a été modifié afin de le rendre capable de reproduire aussi le comportement des cellules pacemaker [6].

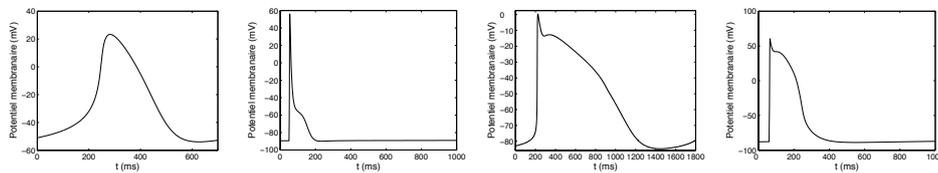


FIG. 25 – Potentiels d'action de différents types cellulaires (schéma Karima Djabella)

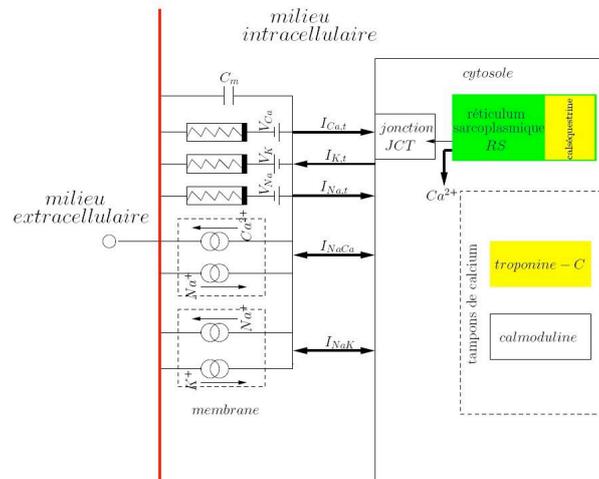


FIG. 26 – Circuit électrique équivalent au sarcolemne et réserves calciques intracellulaires (schéma Karima Djabella)

Références

[1] N. Echenim, D. Monniaux, M. Sorine and F. Clément. Multi-scale modeling of the follicle selection process in the ovary. *Math. Biosci.*, 2005, 198(1) : 57-79.

---

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

- [2] N. Echenim, F. Clément and M. Sorine. Multi-scale modeling of follicular ovulation as a reachability problem. to appear in *Multiscale Modeling and Simulation*
- [3] F. Clément, and J.-P. Françoise. Mathematical modeling of the GnRH-pulse and surge generator, *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, 2007, 6(2) : 441-456.
- [4] T.M. Laleg, C. Médigue, Y. Papelier, E. Crépeau and M. Sorine. New cardiovascular indices based on nonlinear spectral analysis of arterial blood pressure waveforms <https://hal.inria.fr/inria-00158653><https://hal.inria.fr/inria-00158653>.
- [5] K. Djabella, M. Sorine A differential model of controlled cardiac pacemaker cell. Proceedings of the 6th IFAC Symposium on Modelling and Control in Biomedical Systems (MCBMS 2006), Reims, 459-464, 2006.
- [6] K. Djabella, M. Landau, M. Sorine A two-variable model of cardiac action potential with controlled pacemaker activity and ionic current interpretation. Proceedings of the 46th IEEE Decision and control Conference (CDC 2007). New Orleans, 2007

## 16 Toulouse

**Auteur :** Pierre Degond [pierre.degond@math.ups-tlse.fr](mailto:pierre.degond@math.ups-tlse.fr)

**Equipe :** Institut de Mathématiques de Toulouse (CNRS, UPS, INSA, UT1, UT2)

<http://www.math.univ-toulouse.fr/>

Centre de Recherches sur la Cognition Animale (CNRS, UPS)

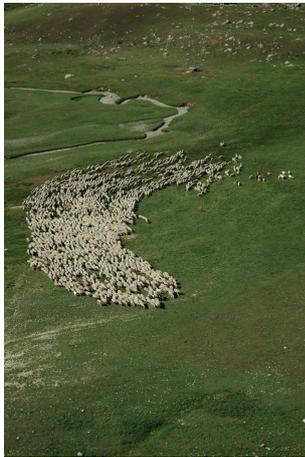
<http://cognition.ups-tlse.fr/>

### 16.1 Structures spatio-temporelles au sein de populations animales

L'étude expérimentale et théorique de la formation de structures spatio-temporelles au sein des sociétés animales (bancs de poissons, nuées d'insectes, vols d'oiseaux, hardes d'ongulés domestiques ou sauvages etc.) ou des groupes humains en déplacement (foules, pèlerinages, etc) est un sujet à la fois fascinant sur le plan de la biologie fondamentale et d'une importance considérable pour le développement des nouvelles technologies robotiques et informatiques (on parle de robotique en essaim, d'intelligence collective, etc.). La collaboration entre des mathématiciens de l'Institut de Mathématiques de Toulouse (UMR CNRS 5219), dans l'équipe de P. Degond et des biologistes du Centre de Recherches sur la Cognition Animale (UMS CNRS 5169), dans l'équipe de G. Theraulaz a permis de développer des modèles mathématiques de comportements individuels et collectifs directement issus des mesures expérimentales, notamment sur les bancs de poissons et les troupeaux de moutons. Il s'agit d'un côté de décrire les interactions des individus à travers des modèles individu-centrés, dont les caractéristiques auront au préalable été déduites des mesures expérimentales, et d'autre part, de concevoir des modèles continus (de type mécanique des fluides), valables au niveau macroscopique d'un banc ou d'un troupeau. Du point de vue mathématique, ces

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

modèles présentent des structures nouvelles qui offrent des perspectives d’exploration mathématique tout a fait fascinantes. La production de structures ou de formes telles celles observées sur les bancs de poisson ou de troupeaux de moutons peuvent être obtenues par le biais de modèle macroscopiques prenant en compte les différents effets antagonistes auxquels sont soumis les individus (attraction, évitement, tendance à l’alignement, etc. ). D’un point de vue numérique également, ces modèles offrent des défis passionnants. La masse des données disponibles est en croissance vertigineuse compte tenu de l’amélioration des technologies d’enregistrement et d’analyse automatiques. Leur exploration constitue un défi nouveau que la modélisation et de la simulation numérique permettent de relever en donnant la possibilité de tester et de valider des hypothèses biologiques par la confrontation des résultats de la simulation à l’observation expérimentale.



Troupeau de mouton en déplacement : les mathématiques permettent de formaliser le passage du niveau individuel au niveau des grands groupes d’animaux. Cette formalisation conduit en retour à proposer des modèles de morphogénèse qui aident à décrire et à expliquer les formes remarquables que prennent les troupeaux dans certaines circonstances (ici une forme de goutte d’eau)

## Références

- [1] P. Degond, S. Motsch, *Continuum limit of self-driven particles with orientation interaction*, à paraître dans *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, voir arXiv :0710.0293.
- [2] P. Degond, S. Motsch, *Macroscopic limit of self-driven particles with orientation interaction*, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser I.* 345 (2007), pp. 555-560.
- [3] P. Degond, S. Motsch, *Large scale dynamics of the Persistent Turning Walker model of fish behavior*, *J. Stat. Phys.*, paru en ligne : DOI 10.1007/s10955-008-9529-8.
- [4] J. Gautrais, S. Motch, C. Jost, M. Soria, A. Campo, R. Fournier, S. Blanco, G. Theraulaz, *Analyzing Fish Movement as a Persistent Turning Walker*, soumis à *Journal of Mathematical Biology*.

## 17 Projet MC2

**Auteur :** Olivier Saut [Olivier.Saut@math.u-bordeaux1.fr](mailto:Olivier.Saut@math.u-bordeaux1.fr)

Thierry Colin [Thierry.Colin@math.u-bordeaux1.fr](mailto:Thierry.Colin@math.u-bordeaux1.fr)

ngelo Iollo [Angelo.Iollo@math.u-bordeaux1.fr](mailto:Angelo.Iollo@math.u-bordeaux1.fr)

**Equipe :** Equipe-Projet INRIA MC2, Institut de Mathématiques de Bordeaux

<http://www.math.u-bordeaux1.fr/MAB/mc2/>

L'équipe développe des modèles de croissance tumorale et les méthodes numériques associées permettant les simulations numériques (2D-3D) en vue de leur validation. Les simulations sont réalisées à l'aide de la plate-forme numérique eLYSe développée par l'équipe.

La croissance tumorale est un phénomène très complexe faisant intervenir de nombreuses échelles. Schématiquement, on peut distinguer quatre échelles distinctes (en espace) :

- Echelle sub-cellulaire qui tient compte de la machinerie interne de la cellule (changements génétiques, expression et réponse aux signaux).
- Echelle cellulaire (cycle cellulaire *i.e.* étapes de la division cellulaire, interactions avec les cellules voisines, compétition avec le système immunitaire).
- Echelle du tissu (migration cellulaire, transition de phases, diffusion des nutriments)
- Echelle de l'organisme (métastases).

Il est donc nécessaire de développer des modèles tenant compte de ces échelles. Dans un premier temps, nous nous sommes limité aux deux échelles intermédiaires. Pour cela, nous utilisons une approche macroscopique : on décrit l'évolution de densités cellulaires. D'après le principe de conservation de la masse, une densité  $n(t, \mathbf{x})$  évolue par

$$\partial_t n + \nabla \cdot \mathbf{J} = \text{Naissances} - \text{Morts}, \quad (1)$$

où  $\mathbf{J}$  désigne le flux cellulaire et les naissances et les morts dépendent des autres espèces cellulaires, des nutriments disponibles, de la phase de la cellule dans le cycle cellulaire. . . Le flux  $\mathbf{J}$  qui décrit le mouvement des cellules peut tenir compte de nombreux effets (diffusion, chemotaxie, haptotaxie. . .). Nous nous sommes particulièrement intéressés à la description du mouvement dû à l'augmentation de volume produite par la division cellulaire. Le flux correspondant est du type

$$\mathbf{J}_{\text{mit}} = n\mathbf{v}, \quad (2)$$

où  $\mathbf{v}$  est la vitesse associée au mouvement. Cette vitesse est classiquement obtenue par une loi de Darcy [4]. En adaptant cette formulation couplée à un modèle discret du cycle cellulaire, nous avons pu étudier l'efficacité de thérapies basées sur le blocage des MMP (Matrix metalloproteinases) [6].

En utilisant une approche basée sur l'équation de Stokes, nous sommes également capables de décrire l'influence d'une membrane basale sur la croissance cancéreuse [5]. La position de la membrane et la force élastique résultante sont calculées [2] à l'aide d'une version level-set de l'Immersed Boundary Method [3].

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Finalement, [2] présente une amélioration du modèle [6] tenant compte des effets de l'adhésion cellulaire. Pour cela, nous avons décrit le comportement des cellules cancéreuses comme visco-élastique pour rendre compte du fait que l'adhésion entre ces cellules est plus faible que pour les cellules saines (considérées comme un matériau élastique)..

### Références

- [1] Bresch, Didier and Colin, Thierry and Grenier, Emmanuel and Ribba, Benjamin and Saut, Olivier, *A viscoelastic model for avascular tumor growth*, soumis, 2008.
- [2] Bresch, Didier and Colin, Thierry and Grenier, Emmanuel and Ribba, Benjamin and Saut, Olivier, *Computational modeling of solid tumor growth : the avascular stage*, soumis, 2008.
- [3] Peskin, C.S., *The immersed boundary method*, Acta Numerica 2002.
- [4] D Ambrosi and L Preziosi, *On the closure of mass balance models for tumor growth*, Math. Mod. Meth. Appl. Sci, 2002.
- [5] D Bresch and T Colin and E Grenier and B Ribba and O SAUT and et al., *Quelques méthodes de paramètre d'ordre avec applications à la modélisation de processus cancéreux*, ESAIM : Proc, 2007.
- [6] Benjamin Ribba and Olivier Saut and Thierry Colin and Didier Bresch and Emmanuel Grenier and et al., *A multiscale mathematical model of avascular tumor growth to investigate the therapeutic benefit of ...*, Journal of Theoretical Biology, 2006.

## 18 Equipe Combinatoire et Optimisation, Université PM Curie

**Auteur :** Sylvain Sorin [sorin@math.jussieu.fr](mailto:sorin@math.jussieu.fr)

**Equipe :** Equipe Combinatoire et Optimisation, Université Pierre et Marie Curie

### 18.1 Dynamique des populations

Les jeux d'évolution introduisent des méthodes de dynamiques de population en théorie des jeux (Hamilton, Maynard Smith).

Le but est d'étudier sur le long terme les effets simultanés de selection et d'interaction.

Plusieurs familles de dynamiques ont été proposées qui diffèrent par leurs caractéristiques : temps discret ou continu, aspect déterministe ou stochastique ; leur justification : fitness, imitation, meilleure réponse ... et leur propriétés asymptotiques : équilibre, attracteurs, permanence...

## Références

- [1] CRESSMAN, R. (2003) *Evolutionary Dynamics and Extensive Form Games*, M.I.T. Press.
- [2] HOFBAUER J. (1998) From Nash and Brown to Maynard Smith : Equilibria, Dynamics and ESS, *Selection*, **1**, 81-88.
- [3] HOFBAUER J. AND K. SIGMUND (1998) *Evolutionary Games and Population Dynamics*, Cambridge U.P.
- [4] HOFBAUER J. AND K. SIGMUND (2003) Evolutionary Games Dynamics, *Bulletin A.M.S.*, **40**, 479-519.
- [5] HOFBAUER J., S. SORIN AND Y. VIOSSAT (2007) Time average replicator and best reply dynamics, preprint.
- [6] TAYLOR P. AND L. JONKER (1978) Evolutionary stable strategies and game dynamics, *Mathematical Biosciences*, **40**, 145-156.
- [7] VIOSSAT Y. (2007) The replicator dynamics does not lead to correlated equilibria, *Games and Economic Behavior*, **59**, 397-407

## Thèses en ligne !

Le service TEL (<http://tel.archives-ouvertes.fr/>) est dédié à l’archivage des thèses et des Habilitations à Diriger les Recherches. Il est modelé sur le serveur de prépublications HAL. Ces services ont été créés par le CCSD (Centre pour la Communication Scientifique Directe). TEL est géré en collaboration avec Mathdoc et la Société Française de Physique.

Le dépôt des thèses est libre, la vérification concerne seulement la pertinence du classement thématique et la correction des données administratives, comme pour HAL.

Tout nouveau docteur (ou habilité) peut ainsi rendre visible (en 24 heures environ) son document de soutenance, ce qui ne peut qu’être encouragé !

Thierry Dumont.

### Opération Jeunes Docteurs

La SMAI offre une adhésion gratuite pour un an aux jeunes chercheurs en mathématiques qui ont soutenu récemment leur thèse et qui l’ont enregistrée dans MathDoc :

<http://math-doc.ujf-grenoble.fr/Theses/>

Afin que cette offre prenne effet, le jeune docteur doit suivre la procédure d’adhésion

<http://smai.emath.fr/spip.php?article14> en :

1. cochant la case « Opération Thèse-Math »,
2. remplissant les lignes « Date de la thèse » et « URL complet du résumé de votre thèse ».

## Résumés de thèses

par Carole LE GUYADER

Il est rappelé aux personnes qui souhaitent faire apparaître un résumé de leur thèse ou de leur HDR que celui-ci ne doit pas dépasser une trentaine de lignes. Le non-respect de cette contrainte conduira à une réduction du résumé (pas forcément pertinente) par le rédacteur en chef, voire à un refus de publication.

### HABILITATIONS À DIRIGER DES RECHERCHES

Erwan FAOU

#### **Quelques aspects géométriques en théorie des coques et en intégration numérique des systèmes hamiltoniens.**

*Soutenue le 16 octobre 2007 à l'IRISA, Rennes*

Les travaux présentés se divisent en deux parties. La première concerne l'analyse asymptotique des coques minces linéairement élastiques. Les coques sont des objets tridimensionnels d'épaisseur petite autour d'une surface moyenne de géométrie arbitraire. Le but de la théorie des coques est d'étudier les différences entre le problème tridimensionnel (les équations de l'élasticité linéaire) et des problèmes bidimensionnels posés sur la surface moyenne. Les résultats présentés donnent des estimations d'erreurs a posteriori entre la solution tridimensionnelle et la solution donnée par un modèle bidimensionnel (modèle de Koiter), qui s'avèrent optimales dans des cas particuliers (plaques, coques elliptiques). La deuxième partie de ces travaux concerne l'intégration "géométrique" de systèmes hamiltoniens. Par géométrique, on entend ici préservant certaines propriétés globales de ces systèmes (conservation de l'énergie, de mesures invariantes, ...). Dans ce contexte, les résultats présentés concerneront surtout l'approximation de systèmes issus de la dynamique moléculaire quantique et classique, domaine où précisément on s'intéresse moins aux trajectoires particulières des particules qu'aux propriétés globales de l'ensemble de ces particules. Le cas de l'approximation de l'équation de Schrödinger par des paquets gaussiens sera étudié plus en détails. Pour le cas de la dynamique moléculaire classique, une nouvelle méthode de calcul de moyennes sera présentée, débouchant naturellement sur des nouvelles méthodes "hybrides" mêlant dynamiques déterministe et stochastique.

Michel GEOFFROY

*Soutenu le 19 novembre 2007*

*Laboratoire AOC, Université des Antilles et de la Guyane*

Les thèmes de recherche abordés tout au long de ces travaux sont principalement l’analyse variationnelle, l’analyse non-lisse et l’optimisation numérique. Bien entendu ils s’enchevêtrent tous, aussi est-il quasiment impossible de les séparer strictement. Il paraît donc plus sûr d’organiser ce résumé en différenciant, non pas les thèmes abordés, mais les problématiques étudiées.

La première d’entre elles concerne à la fois l’analyse non-lisse et l’analyse variationnelle. Il s’agit de problèmes de stabilité de sous-différentiels et de pentes de fonctions (au sens de DeGiorgi–Marino–Tosques). Plus précisément on s’intéresse au comportement de suites de sous-différentiels et de pentes de fonctions semi-continues inférieurement lorsque celles-ci convergent dans un certain sens. Ce travail s’inscrit dans la continuité de ma thèse. On y utilise une nouvelle topologie d’hyper-espace (la topologie *boule-affine*), de celle-ci, dérive une notion de convergence variationnelle de fonctions semi-continues inférieurement. Grâce à cet outil, bien adapté au contexte des applications semi-continues inférieurement, on est en mesure d’établir des résultats de stabilité de sous-différentiels et de pentes hors du cadre convexe. Les résultats obtenus recouvrent et généralisent la grande majorité des résultats obtenus jusque là sur ce sujet.

La deuxième problématique concerne la régularité métrique du sous-différentiel d’une fonction convexe, semi-continue inférieurement et propre. On propose des caractérisations de plusieurs notions de régularité métrique d’un tel sous-différentiel, noté  $\partial f$ , (sous-régularité métrique, régularité métrique, sous-régularité métrique forte, régularité métrique forte) en termes de conditions de croissance de la fonction  $f$ . Ces résultats s’inscrivent dans une nouvelle dynamique autour des problèmes liés à la régularité métrique et font intervenir des travaux récents consacrés à ce thème (voir, par exemple, les travaux d’Azé, de Dontchev-Quincampoix-Zlateva ou encore de Dontchev-Rockafellar).

La troisième problématique baigne dans les champ de l’optimisation numérique (théorique) et de l’analyse variationnelle. On s’intéresse en effet à la résolution d’inclusions variationnelles, mathématiquement parlant il s’agit de trouver un élément  $x \in X$  tel que

$$T(x) \ni 0, \quad (*)$$

où  $T : XY$  désigne une application multivoque agissant entre deux espaces de Banach  $X$  et  $Y$ . Une littérature abondante est disponible sur le sujet lorsque l’application  $T$  est *maximale monotone*. Quelques travaux ont été réalisés sans l’hypothèse de maximale monotonie mais la plupart utilisent des notions liées au concept de monotonie. On se propose ici, d’étudier ce problème dans un tout autre cadre, celui des applications multivoques métriquement régulières. Dans ce contexte on établit une généralisation de la méthode du point proximal adaptée aux applications métriquement régulières. On applique ensuite la méthode proposée à la résolution de problèmes de points fixes d’applications multivoques tout en proposant pour cette même problématique une autre méthode, celle-ci, de type Mann.

## RÉSUMÉS DE THÈSES

Enfin, la dernière problématique, voisine de la précédente, concerne les inclusions particulières du type

$$f(x) + G(x) \ni 0,$$

où  $f : X \rightarrow Y$  et  $G : XY$  désignent respectivement des applications univoques et multivoques. De telles inclusions sont aussi appelées *équations généralisées* et si on peut les voir comme un simple cas particulier de l'inclusion (\*) elles méritent toute notre attention car elles modélisent un nombre considérable de situations mathématiques et pratiques. On les étudiera tout d'abord dans un contexte lisse (*i.e.*, lorsque la fonction  $f$  possède de bonnes propriétés de différentiabilité) puis dans un contexte un peu plus général que l'on qualifiera de non-lisse.

**Ghislaine GAYRAUD**

### **Vitesses et procédures statistiques minimax dans des problèmes d'estimation et de tests d'hypothèses.**

*Soutenu le 6 décembre 2007 à l'Université de Rouen*

Mes travaux s'articulent autour de trois thématiques.

La première thématique porte sur la résolution via l'approche minimax de divers problèmes d'estimation et de tests d'hypothèses dans un cadre non-paramétrique. En statistique Bayésienne non-paramétrique, je me suis intéressée à un problème d'estimation d'ensembles à niveau. Les résultats obtenus résultent de l'étude des propriétés asymptotiques d'estimation Bayésienne d'ensembles à niveau. Ce sont des résultats généraux au sens où la consistance et la vitesse de convergence de l'estimateur Bayésien sont établies pour une large classe de lois a priori.

La troisième thématique concerne un problème d'estimation paramétrique dans un modèle de déconvolution aveugle bruitée : il s'agit de restituer la loi du signal entrant. La consistance ainsi que la distribution asymptotique d'une nouvelle procédure d'estimation sont établies.

**Jean VELIN**

### **Contribution à l'analyse d'équations aux dérivées partielles non linéaires, au contrôle de systèmes à données incomplètes, à la contrôlabilité des systèmes distribués, à la théorie des sentinelles.**

*Soutenu le 14 décembre 2007*

*Université des Antilles et de la Guyane*

Les travaux présentés traitent des points suivants :

- l'analyse d'une classe de systèmes d'équations quasi-linéaires couplées. On donne des résultats d'existence et de non-existence pour une classe de systèmes elliptiques de type gradients gouvernés par des opérateurs pseudo-laplaciens ;
- le contrôle optimal des systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles. A l'aide des notions de contrôle de Paréto et de contrôle sans regret établis

par J.L. Lions, on établit l'existence et la caractérisation d'un unique contrôle sans regret associé à des problèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles de type diffusion. On distingue les cas pour lesquels l'opérateur est linéaire et ceux pour lesquels l'opérateur est non-linéaire (opérateur pseudo-laplacien) ; - l'application de la théorie des sentinelles à la détermination de terme de pollutions dans un problème d'écoulement de fluide. A l'aide d'une inégalité de Carleman obtenue pour le problème de Navier-Stokes, on montre que la résolution d'un problème de contrôlabilité exacte à zéro sous contrainte permet de définir une fonction sentinelle et donc de déterminer ces termes de pollution.

**Joseph GERGAUD**

**Sur la résolution numérique de problèmes de contrôle optimal à solution bang-bang via les méthodes homotopiques.**

*Soutenue le 8 février 2008 à l'INP-ENSEEIH-IRIT*

Le problème considéré est celui du contrôle optimal des transferts orbitaux (problème proposé par le Centre National d'Études Spatiales). Le modèle retenu est l'équation de Kepler contrôlée, la loi de commande étant la poussée d'un satellite en orbite autour de la Terre. Les contributions concernent la résolution numérique du problème à consommation minimale. À cause de la convexité, mais de la non stricte convexité, du hamiltonien par rapport au contrôle, le contrôle optimal est bang-bang. Les difficultés pour la résolution numérique par la méthode de tir sont résolues par une approche homotopique. L'idée principale est de définir une famille de problèmes qui dépend d'un paramètre  $\lambda \in [0, 1]$ . Ainsi, nous connectons, pour  $\lambda = 0$ , le problème simple de la minimisation de l'énergie (le carré de la norme  $L^2$  du contrôle) à notre problème de minimisation de la consommation (norme  $L^1$  du contrôle) pour  $\lambda = 1$ . Les fonctions de tir associées à cette famille de problèmes nous définissent alors une homotopie  $S(z, \lambda)$ . Pour suivre le chemin de zéros de cette homotopie nous avons étudié les algorithmes de prédiction-corrrection et les algorithmes simpliciaux. Ces méthodes homotopiques nous fournissent un excellent point de départ pour résoudre le problème en  $\lambda = 1$  via un algorithme de type Newton. Mais, pour résoudre précisément notre problème de minimisation de la consommation, il est nécessaire de détecter finement les commutations et la dérivée de la fonction de tir. Un nouveau schéma pour calculer ces commutations est proposé qui permet d'améliorer la conservation du hamiltonien, la précision de l'évaluation de la fonction de tir, ainsi que la convergence de la méthode de tir. Enfin, des premiers résultats numériques sont présentés sur les conditions du deuxième ordre basées sur la notion de points conjugués.

THÈSES DE DOCTORAT D’UNIVERSITÉ

**Yboon Victoria GARCIA RAMOS**

Directeurs de thèse : Marc LASSONDE (Université des Antilles et de la Guyane)  
et Wilfredo SOSA SANDOVAL (Université Nationale d’Ingénierie, Pérou)

**Sommes d’opérateurs monotones et sous-différentiels de fonctions  
quasiconvexes.**

*Soutenue le 2 octobre 2007*

*Univ. des Antilles et de la Guyane et Univ. Nationale d’Ingénierie, Pérou*

Dans la première partie, après une présentation d’outils d’analyse convexe et fonctionnelle, on commence par étudier les concepts de somme étendue d’opérateurs monotones et de composition étendue d’un opérateur monotone par un opérateur linéaire continu. Dans un premier temps, on établit de nouvelles propriétés de la somme étendue, comme le fait que la somme d’opérateurs maximaux monotones soit monotone. Ensuite, on établit une relation entre ces notions étendues de somme et de composition, ce qui permet de déduire les propriétés d’un des deux concepts à partir des propriétés de l’autre. Par la suite, on fait une étude comparative de la somme variationnelle et la somme étendue, et une étude similaire des compositions étendue et variationnelle. Dans le cas où la somme étendue est maximale monotone, elle coïncide avec la somme variationnelle, ce qui nous permet d’étendre quelques relations déjà connues entre ces deux concepts. Dans le cadre d’un espace de dimension finie, on montre que si la somme étendue (variationnelle) est pré-maximale monotone alors la somme variationnelle est maximale monotone.

Dans la deuxième partie, on étudie les sous-différentiels de Clarke-Rockafellar des fonctions (semi-)strictes quasiconvexes, dans le cas où elles sont continues. On introduit la notion d’opérateur variationnellement (semi-) stricte quasimonotone et l’on montre qu’elle caractérise les sous-différentiels des fonctions (semi-) strictes quasiconvexes continues. La définition proposée est une relaxation de la définition standard de quasimonotonie (semi-) stricte, cette dernière notion étant appropriée seulement pour des opérateurs dont les valeurs sont non vides. Les résultats obtenus sont des prolongements au cas continu des résultats correspondants pour les fonctions localement lipschitziennes. Enfin, on montre que l’inégalité variationnelle de Minty a des solutions non vides sur chaque ensemble non vide, convexe et faiblement compact, pourvu que l’opérateur associé à ce problème soit variationnellement (semi-) stricte quasimonotone.

**Mots-clés :** Opérateur maximal monotone, somme étendue, somme variationnelle, composition, sous-différentiel, fonction quasiconvexe, opérateur quasimonotone.

**Marie-Amélie MORLAIS**

Directeur de thèse : Ying HU (IRMAR, Université Rennes 1)

**Equations différentielles stochastiques rétrogrades à croissance quadratique et applications.**

*Soutenu le 12 octobre 2007 à l'IRMAR, Université Rennes 1*

Dans cette thèse, l'étude menée consiste à établir de nouveaux résultats théoriques concernant des problèmes d'existence et d'unicité pour des Equations Différentielles Stochastiques Rétrogrades (EDSR) à croissance quadratique : ceci a pour but de permettre la résolution d'un problème de Mathématiques Financières, à savoir la maximisation de l'utilité (exponentielle) d'un portefeuille sous contraintes. Généralisant des résultats déjà connus en filtration brownienne pour les EDSR quadratiques, ce travail permet ainsi d'apporter des réponses au problème financier dans des contextes plus généraux.

**William CASTAINGS**

Directeurs de thèse : François-Xavier LE DIMET (UJF) et Denis DARTUS (INP Toulouse).

**Analyse de sensibilité et estimation de paramètres pour la modélisation hydrologique : potentiel et limitations des méthodes variationnelles.**

*Soutenu le 24 octobre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

Comme tout évènement géophysique, la transformation de la pluie en débit dans les rivières est caractérisée par la complexité des processus engagés et par l'observation partielle, parfois très limitée, de la réponse hydrologique du bassin versant ainsi que du forage atmosphérique auquel il est soumis. Il est donc essentiel de comprendre, d'analyser et de réduire les incertitudes inhérentes à la modélisation hydrologique (analyse de sensibilité, assimilation de données, propagation d'incertitudes). Les méthodes variationnelles sont très largement employées au sein d'autres disciplines (ex. météorologie, océanographie ...) confrontées aux mêmes challenges. Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué ce type de méthodes à des modèles représentant deux types de fonctionnement des hydrosystèmes à l'échelle du bassin versant. Le potentiel et les limitations de l'approche variationnelle pour la modélisation hydrologique sont illustrés avec un modèle faisant du ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration, le processus prépondérant pour la genèse des écoulements superficiels (MARINÉ) ainsi qu'avec un modèle basé sur le concept des zones contributives d'aire variable (TOPMODEL). L'analyse de sensibilité par linéarisation ou basée sur la méthode de l'état adjoint permet une analyse locale mais approfondie de la relation entre les facteurs d'entrée de la modélisation et les variables pronostiques du système. De plus, le gradient du critère d'ajustement aux observations calculé par le modèle adjoint permet guider de manière très efficace un algorithme de descente avec

## RÉSUMÉS DE THÈSES

contraintes de bornes pour l'estimation des paramètres. Les résultats obtenus sont très encourageants et plaident pour une utilisation accrue de l'approche variationnelle afin d'aborder les problématiques clés que sont l'analyse de la physique décrite dans les modèles hydrologiques et l'estimation des variables de contrôle (calibration des paramètres et mise à jour de l'état par assimilation de données).

**Mots-clés :** Modélisation hydrologique, estimation de paramètres, problème inverse, assimilation variationnelle de données, analyse de sensibilité, identifiabilité, modèle adjoint, contrôle optimal, optimisation, différenciation automatique.

**Matthieu VIGNES**

Directeurs de thèse : Gilles CELEUX (INRIA Futur) et Florence FORBES (INRIA Rhône-Alpes).

### **Modèles Markoviens graphiques pour la fusion de données individuelles et d'interactions : applications à la classification de gènes.**

*Soutenue le 30 octobre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

Les recherches que nous présentons dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre de l'intégration statistique de données post-génomiques hétérogènes. La classification non supervisée de gènes vise à regrouper en ensembles significatifs les gènes d'un organisme, vu comme un système complexe, conformément aux données expérimentales afin de dégager des actions concertées de ces gènes dans les mécanismes biologiques mis en jeu. Nous basons notre approche sur des modèles probabilistes graphiques. Plus spécifiquement, nous utilisons l'outil de champs de Markov cachés qui permet la prise en compte simultanée de données propres à chacun des gènes grâce à des distributions de probabilités et de données traduisant un réseau d'interactions au sein de l'organisme à l'aide d'un graphe non-orienté entre les gènes. Après avoir présenté la problématique et le contexte biologique, nous décrivons le modèle utilisé ainsi que les stratégies algorithmiques d'estimation des paramètres (i.e. approximations de type champ moyen). Puis nous nous intéresserons à deux particularités des données auxquelles nous avons été confrontés et qui amènent des développements du modèle utilisé, notamment la prise en compte de l'absence de certaines observations et la haute dimensionnalité de celles-ci. Enfin nous présenterons des expériences sur données simulées ainsi que sur données réelles sur la levure qui évaluent le gain apporté par notre travail. Notamment, nous avons voulu mettre l'accent sur des interprétations biologiques plausibles des résultats obtenus.

**Mots-clés :** Bio statistiques, observations manquantes, modèles probabilistes graphiques, classification de gènes, intégration de données post-génomiques, validation de classification, champs de Markov, approximations de type champs moyens.

**Claire SCHEID**

Directeur de thèse : Patrick WITOMSKI (UJF).

**Analyse théorique et numérique au voisinage du point triple en électromouillage.**

*Soutenue le 25 octobre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

Nous étudions la déformation d'une goutte d'eau par électromouillage. La géométrie de la goutte près de la ligne de contact, au coeur de la compréhension complète du phénomène, soulève encore des interrogations. Ce travail y apporte des réponses théoriques et numériques. Un modèle utilisant l'optimisation de forme nous permet de montrer que l'angle de contact est indépendant du potentiel appliqué. Pour permettre une visualisation, nous simulons numériquement les formes macroscopiques de gouttes grâce à un code existant. Ceci étant insuffisant pour visualiser ce qui se passe à la ligne de contact, nous proposons deux voies. Nous améliorons l'approximation de la singularité du potentiel à la ligne de contact. Puis vu le caractère local de l'information recherchée, nous modifions le modèle global et extrayons un modèle différentiel local pour préciser les formes de gouttes à potentiel donné, effectuer un calcul précis de courbure, et enfin visualiser l'invariance de l'angle de contact.

**Mots-clés :** Electromouillage, optimisation de forme, singularités dans un ouvert à coins, traitement des singularités, calcul variationnel.

**Ehouarn SIMON**

Directeurs de thèse : Eric BLAYO (UJF) et Laurent DEBREU (INRIA Rhône-Alpes).

**Assimilation variationnelle de données pour des modèles emboîtés.**

*Soutenue le 8 novembre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

Les modèles emboîtés sont largement utilisés en météorologie et en océanographie. Ils permettent un accroissement local de la résolution, dans les zones où cela semble nécessaire, via l'intégration d'un même modèle sur une hiérarchie de grilles. Dans le cas d'interaction one-way, les conditions aux frontières pour la grille fine proviennent d'une interpolation de la solution obtenue sur la grille à faible résolution. Dans le cas d'interaction two-way, une rétroaction de la grille fine vers la grille grossière est ajoutée. Toutefois, le problème de l'assimilation variationnelle de données dans de tels systèmes n'a pas, ou peu, été étudié à ce jour. Ces classes de méthodes, notamment l'algorithme 4D-Var, permettent d'améliorer la solution d'un modèle, jusqu'ici mono-grille, en minimisant une fonctionnelle mesurant l'écart de ce modèle aux observations présentes sur une fenêtre temporelle. Le travail présenté ici vise donc à formuler un algorithme d'assimilation 4D-Var localement multi-grille. Pour le cas général d'une grille haute résolution emboîtée localement dans une autre à plus faible résolution,

nous posons les équations du système adjoint dans les deux cas d'interactions one-way et two-way. Nous montrons ainsi que la formulation adjointe fait naturellement apparaître de nouvelles interactions entre les grilles, dans le sens opposé de celles existant dans la formulation directe. De plus, nous proposons différentes variantes à ces algorithmes, réalisant un couplage faible entre les solutions des différents modèles via l'ajout d'un terme de contrôle au niveau des transferts inter-grilles. Nous présentons également l'application d'une méthode multi-grille, le Full Approximation Scheme, à l'assimilation variationnelle de données. Cette approche permet d'obtenir un algorithme d'assimilation multi-grille potentiellement très efficace. Enfin, ces méthodes sont testées sur le cas d'un modèle Saint Venant 2D. Nous constatons une réduction importante des erreurs des solutions multi-grilles, ainsi qu'une accélération de la convergence de ces algorithmes.

**Mots-clés :** Assimilation variationnelle de données, algorithmes 4D-Var, modèles emboîtés, méthodes multi-grilles, océanographie, météorologie.

**Célia JEAN-ALEXIS**

Directeur de thèse : Alain PIETRUS (Université des Antilles et de la Guyane).

**Diverses méthodes de résolution d'inclusions variationnelles.**

*Soutenue le 20 novembre 2007 à l'Université des Antilles et Guyane*

Cette thèse est consacrée à la résolution d'inclusions variationnelles de la forme  $0 \in f(x) + F(x)$  où  $f$  est une fonction univoque et  $F$  est une application multivoque à graphe fermé. Notre étude s'effectue dans des espaces de Banach et dans le cas où l'hypothèse d'Aubin-continuité est satisfaite. Nous nous intéressons d'abord à certaines méthodes numériques connues pour résoudre ce type d'inclusion. Puis nous proposons une variante de la méthode de type de Newton donnée par Dontchev et nous introduisons une méthode de type Hummel-Seebeck moins coûteuse qu'une méthode cubique proposée par Geoffroy et al. Ensuite, nous étudions certaines de ces méthodes sous une condition de différentiabilité de type Hölder puis sous une condition plus faible dite de type center-Hölder. La dernière partie consiste à étudier cette inclusion dans un cadre plus général à savoir lorsque  $f$  est la limite d'une suite d'applications  $f_n$  et lorsque  $F$  est la limite d'une suite d'applications  $F_n$ . Nous prouvons que les résultats d'existence et de convergence donnés par les différentes méthodes sont stables par passage à la limite.

**Mots-clés :** Application multivoque, Aubin-continuité, convergence, stabilité, condition de type center-Hölder, convergence selon Wijsman.

**Aline LEFEBVRE**

Directeur de thèse : Bertrand MAURY (Université Paris-Sud XI, Orsay).

**Modélisation numérique des écoulements fluide/particules - Prise en compte des forces de lubrification.**

*Soutenue le 23 novembre 2007*

*Université Paris-Sud XI, Orsay*

Nous nous intéressons à la simulation directe d'écoulements fluide-particules très denses en particules et plus particulièrement à la prise en compte des forces de lubrification qui sont exercées sur les particules par le fluide interstitiel. Dans le cas d'écoulements à grande densité de particules, elles sont très difficiles à estimer numériquement alors qu'elles peuvent avoir, dans certains cas, un rôle prépondérant dans le comportement global du système. Cette thèse comporte trois parties. - Dans la première, nous présentons une méthode de simulation d'écoulements fluide/particules. Nous montrons que la pénalisation du tenseur des contraintes, associée à une discrétisation en temps par la méthode des caractéristiques, conduit à une formulation variationnelle de type Stokes généralisée. Des tests numériques sont effectués sous FreeFem++ afin d'étudier la convergence. Nous en présentons également trois exemples d'utilisation. - Dans la seconde partie nous proposons un modèle permettant de prendre en compte les forces de lubrification dans les simulations directes d'écoulements fluide/particules. Nous présentons d'abord un modèle de contact visqueux dans le cas particule/plan, obtenu comme limite, à viscosité nulle, du modèle de lubrification. Nous décrivons ensuite un algorithme reposant sur une étape de projection des vitesses, à chaque instant, sur un espace dit de vitesses admissibles. On montre alors la convergence du schéma et on généralise l'algorithme au cas multi-particules. Nous en présentons également un exemple de programmation orientée objet. - Dans la dernière partie, nous considérons un système discret de sphères (boulier en 1D) qui interagissent à travers la force de lubrification. Le modèle microscopique repose sur le développement de cette force à courte distance. Nous proposons une équation constitutive macroscopique, de type Newtonien, reposant sur une viscosité linéique proportionnelle à l'inverse de la fraction locale de fluide. Nous établissons la convergence du modèle microscopique vers le modèle macroscopique proposé.

**Sébastien MEUNIER**

Directeur de thèse : Alexandre ERN (ENPC).

**Analyse d'erreur a posteriori pour les couplages Hydro-Mécaniques et mise en œuvre dans Code\_Aster.**

*Soutenue le 23 novembre 2007 à l'ENPC*

On s'intéresse à l'analyse de méthodes d'approximation par éléments finis en espace et différences finies en temps pour des problèmes Hydro-Mécaniques (HM) couplés intervenant dans la théorie de la poroélasticité linéaire quasi-statique.

Après avoir rappelé les bases physiques de cette théorie, on propose un cadre adapté pour mener l'étude mathématique des versions stationnaire et instationnaire du problème HM. Pour la version stationnaire, après avoir étudié le caractère bien posé du problème aux niveaux continu et discret et effectué l'analyse d'erreur *a priori*, on réalise l'analyse d'erreur *a posteriori* en utilisant deux techniques différentes adaptées pour l'estimation en norme  $H_x^1$  sur la pression et sur les déplacements respectivement. Les propriétés classiques de fiabilité et d'optimalité sont démontrées pour les estimateurs d'erreur associés. Quelques expérimentations numériques, réalisées dans *Code Aster*, illustrent les résultats théoriques. Pour la version instationnaire, on établit d'abord un résultat de stabilité pour le problème continu. Puis, on présente une analyse d'erreur *a priori* optimale utilisant les techniques de projection elliptique. Enfin, l'analyse d'erreur *a posteriori* est réalisée en utilisant deux approches différentes : une approche directe et une approche par reconstruction elliptique. La première est adaptée pour l'estimation en norme  $L_t^2(H_x^1)$  sur la pression et la deuxième est adaptée pour l'estimation en norme  $L_t^\infty(H_x^1)$  sur les déplacements et en norme  $L_t^\infty(L_x^2)$  sur la pression. Des expérimentations numériques, réalisées dans *Code Aster*, viennent compléter les résultats théoriques.

**Olivier BERTONCINI**

Directeur de thèse : Roberto FERNANDEZ (Université de Rouen).

**Convergence abrupte et métastabilité.**

*Soutenue le 29 novembre 2007 à l'Université de Rouen*

Le but de cette thèse est de relier deux phénomènes relatifs au comportement asymptotique des processus stochastiques, qui jusqu'à présent étaient restés dissociés. La convergence abrupte ou phénomène de cutoff d'une part, et la métastabilité d'autre part. Dans le cas du cutoff, une convergence abrupte vers la mesure d'équilibre du processus a lieu à un instant que l'on peut déterminer, alors que la métastabilité est liée à une grande incertitude sur l'instant où l'on va sortir d'un certain équilibre. On propose un cadre commun pour étudier et comparer les deux phénomènes : celui des chaînes de naissance et de mort à temps discret sur  $\mathbb{N}$ , avec une dérive vers zéro.

On montre que sous l'hypothèse de dérive il y a convergence abrupte vers zéro et métastabilité dans l'autre sens. De plus la dernière excursion dans la métastabilité est la renversée temporelle d'une trajectoire typique de cutoff.

On étend notre approche au modèle d'Ehrenfest, ce qui nous permet de montrer la convergence abrupte et la métastabilité sous une hypothèse de dérive plus faible.

**Mots-clés :** Convergence abrupte, cutoff, métastabilité, chaînes de Markov, marches aléatoires, chaînes de naissance et de mort, temps d'atteinte, couplages.

**Jérémie JAKUBOWICZ**

Directeur de thèse : Jean-Michel MOREL (CMLA, Cachan).

**La recherche des alignements dans les images digitales et ses applications à l'imagerie satellitaire.**

*Soutenue le 30 novembre 2007 au CMLA, Cachan*

Cette thèse aborde le problème de la détection des alignements dans les images digitales et ses applications à l'imagerie satellitaire. Un nouvel algorithme de détection d'alignements, le détecteur de multisegments, améliorant le détecteur d'alignements significatifs de Desolneux et al. est introduit. Tout en continuant à fournir une méthode de détection sans paramètres et qui contrôle le nombre de fausses alarmes, cet algorithme corrige un problème lié à l'utilisation du principe de maximalité dans la méthode de Desolneux et al. Ce détecteur sert ensuite à construire un algorithme de détection des zones de bâti dans des images satellitaires à très haute résolution. Dans une dernière partie, le rôle des lois discrètes sur le nombre de fausses alarmes dans la théorie de la décision a contrario est analysé. On discute en particulier la pertinence du critère  $\epsilon = 1$  comme seuil a priori.

**Mots-clés :** Détection d'alignements, imagerie satellitaire, décision a contrario, nombre de fausses alarmes.

**Carine LUCAS**

Directeurs de thèse : Didier BRESCH (CNRS, Université de Savoie) et Christine KAZANTSEV (UJF).

**Effets de petites échelles, du tenseur des contraintes, des conditions au fond et à la surface sur les équations de Saint-Venant.**

*Soutenue le 30 novembre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

Dans une première partie, nous présentons des équations de Saint-Venant. Sur le modèle proprement dit, nous remarquons tout d'abord que, suivant le lien entre la viscosité et le rapport d'aspect, il est indispensable de conserver l'expression complète de la force de Coriolis : nous obtenons ainsi un nouveau modèle, avec un "effet cosinus". Nous montrons alors que les preuves d'existence de solutions faibles peuvent être adaptées à ce nouveau système. Des simulations numériques de certaines ondes soulignent l'importance de ce terme. Nous étudions ensuite l'influence des conditions limites (surface, fond) et du tenseur des contraintes sur des modèles de type Saint-Venant. Nous présentons également des modèles obtenus en utilisant des échelles multiples en espace et en temps. Enfin, nous analysons théoriquement et numériquement un nouveau modèle de sédimentation puis nous donnons certains résultats pour les fluides visco-plastiques. Dans une deuxième partie, nous nous intéressons aux équations limites que sont les équations quasi-géostrophiques (QG) et les équations des lacs. L'étude numérique des

équations QG 2d met en évidence le rôle de l’effet cosinus de la force de Coriolis. En fonction de la topographie considérée, nous montrons que celui-ci peut être non négligeable. Toujours sur les équations QG, nous donnons un schéma, basé sur des développements asymptotiques, qui permet de bien capter la couche limite mais aussi d’ajouter le terme de topographie à la solution obtenue avec fond plat, sans tout recalculer. Enfin, nous expliquons l’obtention des équations des lacs avec effet cosinus, et nous prouvons que les propriétés d’existence de solutions restent valables.

**Mots-clés :** Equations aux dérivées partielles, équations de Saint-Venant, modélisation de fluides tournants, développements asymptotiques, analyse multi-échelles, estimations a priori, stabilité de solutions approchées, études numériques.

**Denys DUTYKH**

Directeur de thèse : Frédéric DIAS (CMLA, Cachan).

### **Modélisation mathématique des tsunamis.**

*Soutenue le 3 décembre 2007 au CMLA, Cachan*

Cette thèse est consacrée à la modélisation des tsunamis. La vie de ces vagues peut être conditionnellement divisée en trois parties : génération, propagation et inondation. Dans un premier temps, nous nous intéressons à la génération de ces vagues extrêmes. Dans cette partie du mémoire, nous examinons les différentes approches existantes pour la modélisation, puis nous en proposons d’autres. La conclusion principale à laquelle nous sommes arrivés est que le couplage entre la sismologie et l’hydrodynamique est actuellement assez mal compris.

Le deuxième chapitre est dédié essentiellement aux équations de Boussinesq qui sont souvent utilisées pour modéliser la propagation d’un tsunami. Certains auteurs les utilisent même pour modéliser le processus d’inondation (le run-up). Plus précisément, nous discutons de l’importance, de la nature et de l’inclusion des effets dissipatifs dans les modèles d’ondes longues.

Dans le troisième chapitre, nous changeons de sujet et nous nous tournons vers les écoulements diphasiques. Le but de ce chapitre est de proposer un modèle simple et opérationnel pour la modélisation de l’impact d’une vague sur les structures côtières. Ensuite, nous discutons de la discrétisation numérique de ces équations avec un schéma de type volumes finis sur des maillages non structurés.

Finalement, le mémoire se termine par un sujet qui devrait être présent dans tous les manuels classiques d’hydrodynamique mais qui ne l’est pas. Nous parlons des écoulements viscopotentiels. Nous proposons une nouvelle approche simplifiée pour les écoulements faiblement visqueux. Nous conservons la simplicité des écoulements potentiels tout en ajoutant la dissipation. Dans le cas de la profondeur finie nous incluons un terme correcteur dû à la présence de la couche limite au fond. Cette correction s’avère être non locale en temps. Donc, la couche limite au fond apporte un certain effet de mémoire à l’écoulement.

**Mots-clés :** Ondes de surface, génération des tsunamis, équations de Boussinesq, écoulements diphasiques, écoulements viscopotentiels, volumes finis.

**Olivier LOPEZ**

Directeurs de thèse : Michel Delecroix (ENSAI) et Valentin Patilea (IRMAR, INSA Rennes).

**Réduction de dimension en présence de données censurées.**

*Soutenue le 6 décembre 2007*

*IRMAR, ENSAI*

Nous considérons des modèles de régression où la variable expliquée est censurée à droite aléatoirement. Nous proposons de nouveaux estimateurs de la fonction de régression dans des modèles paramétriques, et nous proposons une procédure de test non paramétrique d'adéquation à ces modèles. Nous prolongeons ces méthodes à l'étude du modèle semi-paramétrique "single-index", généralisant ainsi des techniques de réduction de dimension utilisées en l'absence de censure. Nous nous penchons tout d'abord sur le cas d'un modèle où la variable de censure est indépendante de la variable expliquée ainsi que des variables explicatives. Nous travaillons dans un second temps dans un cadre moins restrictif où la variable expliquée et la censure sont indépendantes conditionnellement aux variables explicatives. Une difficulté spécifique à ce dernier type de modèle tient en l'impossibilité des techniques actuelles à estimer une espérance conditionnelle (de façon paramétrique ou non) en présence de plus d'une variable explicative. Nous développons une nouvelle approche de réduction de la dimension afin de résoudre ce problème.

**Géraldine PICHOT**

Directeur de thèse : Roger LEWANDOWSKI (IRMAR, Université Rennes 1).

**Modélisation et analyse numérique du couplage filet-écoulement hydrodynamique dans une poche de chalut.**

*Soutenue le 6 décembre 2007*

*IRMAR, Université Rennes 1*

Nous nous intéressons à la simulation numérique du phénomène de capture dans une poche de chalut. Nous présentons les modèles existants pour le filet et les poissons et montrons la nécessité de développer un modèle pour le fluide. Afin de mieux comprendre l'écoulement, nous avons mené des campagnes expérimentales autour d'une maquette de filet rigide axisymétrique dont nous décrivons les résultats. Nous proposons un modèle pour le fluide basé sur les équations de Navier-Stokes/Brinkman moyennées couplées à une équation pour l'énergie cinétique turbulente par le biais d'une viscosité turbulente, et les conditions aux limites appropriées. Nous montrons l'existence d'une solution faible au problème couplé en dimension 2. Puis, nous présentons le code de calcul axisymétrique que nous avons développé, nommé SeaNet. Nous avons alors procédé au calage des paramètres du modèle ainsi qu'à la validation du code par comparaison avec les résultats expérimentaux.

**Mots-clés :** Sélectivité des engins de pêche, mécanique des fluides, turbulence, interactions fluide/structure, modélisation, formulations variationnelles, simulations numériques, méthode des éléments finis.

**Assia SOUALAH ALILA**

Directeurs de thèse : Bertrand Maury (Laboratoire de Mathématique, Université Paris-Sud) et Taïeb HADHRI (Laboratoire d’Ingénierie Mathématique, Ecole Polytechnique de Tunisie).

### **Modélisation mathématique et numérique du poumon humain**

*Soutenue le 6 décembre 2007*

*Université Paris-Sud et Ecole Nationale d’Ingénieurs de Tunis*

Nous proposons un modèle mathématique intégré du poumon dont l’approche globale repose sur une modélisation multibloc. En effet, on décompose en trois niveaux l’arbre bronchique qui s’étend sur vingt quatre générations de bronches allant de la trachée aux alvéoles. Au premier niveau (les six premières générations), a lieu un écoulement de Navier-Stokes, qui est simulé directement. Au deuxième niveau (de la génération sept à la génération dix sept), les flux à travers les bronches sont régis par la loi de Poiseuille. La linéarité de cette loi nous permet de condenser cette partie de l’arbre et de proposer des conditions aux bords dissipatives adaptées à la simulation de la ventilation et permettant d’éviter le maillage de cette partie géométriquement complexe. Le dernier niveau du modèle, prend en compte la partie distale de l’arbre qui est la zone alvéolaire. Elle est composée des acini, qui agissent comme un ensemble de petites pompes et dont l’effet macroscopique est le moteur même de la respiration. A ce niveau, on propose les déplacements d’un piston comme modèle simplifié des mouvements du diaphragme pulmonaire. Dans un premier temps, on se place dans le cadre particulier des équations de Stokes et on s’intéresse au couplage des deux premiers compartiments, dont la validité est illustrée par des tests numériques. On explique également le calcul de la résistance globale équivalente qui intervient dans le calcul de la condition aux limites qui remplace la zone condensée. L’étude est ensuite généralisée au cas des équations de Navier-Stokes. La difficulté réside dans le contrôle du flux d’énergie cinétique, on introduit alors une classe de conditions aux limites, qu’on désigne par dissipatives essentielles, pour lesquelles la trace du champ de vitesse sur les sections d’entrée et de sorties vit dans un espace de dimension finie, et pour lesquelles on prouve des résultats d’existence de solutions faibles locales en temps pour données quelconques et globales en temps pour données petites. Pour le cas de conditions dites dissipatives naturelles, c’est à dire sans contrainte sur la trace du champ de vitesse, on a existence de solutions faibles locales en temps pour données petites et globales en temps pour données plus petites, mais seulement en dimension deux. Cependant, on prouve pour ces conditions aux limites, que pour une classe de solutions plus régulières on a l’existence d’une unique solution locale en temps ainsi que l’existence d’une solution globale en temps pour données petites. Pour le couplage global, incluant le piston, on prouve l’existence de solutions faibles locales en temps pour des données quelconques en ce qui concerne les conditions aux limites dissipatives essentielles, tandis que pour les conditions dissipatives naturelles, on

## RÉSUMÉS DE THÈSES

obtient l'existence de solutions locales en temps pour données petites et toujours seulement en dimension deux. Finalement, on propose une discrétisation en temps du problème global et on établit un bilan énergétique à l'ordre 1 pour le problème régulier en espace et discrétisé en temps. Nous présentons ainsi plusieurs simulations numériques bidimensionnelles correspondant aussi bien à un poumon sain que pathologique et notamment asthmatique.

**Mots-clés :** Poumons, équations de Navier-Stokes, conditions aux limites, couplage multimodèle, éléments finis.

**Irène GANNAZ**

Directeur de thèse : Anestis ANTONIADIS (UJF).

### **Estimation par ondelettes dans les modèles partiellement linéaires.**

*Soutenue le 7 décembre 2007*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier*

L'objet de cette thèse est d'apporter une contribution à l'inférence dans les modèles partiellement linéaires en appliquant des méthodes d'estimation adaptative par ondelettes. Ces modèles de régression semi-paramétriques distinguent des relations linéaires et des relations fonctionnelles, non paramétriques. L'inférence statistique consiste à estimer conjointement les deux types de prédicteurs, en prenant en compte leur possible corrélation. Une procédure des moindres carrés pénalisés permet d'introduire une estimation par ondelettes avec seuillage des coefficients de la partie fonctionnelle. Un parallèle est établi avec une estimation du paramètre de régression par des M-estimateurs usuels dans un modèle linéaire, les coefficients d'ondelettes de la partie fonctionnelle étant considérés comme des valeurs aberrantes. Une procédure d'estimation de la variance du bruit est aussi proposée. Des résultats relatifs aux propriétés asymptotiques des estimateurs de la partie linéaire et de la partie non paramétrique sont démontrés lorsque les observations de la partie fonctionnelle sont réalisées en des points équidistants. Sous des restrictions usuelles de corrélation entre les variables explicatives, les résultats sont presque optimaux (à un logarithme près). Des simulations permettent d'illustrer les comportements des estimateurs et de les comparer avec d'autres méthodes existantes. Une application sur des données d'IRM fonctionnelle a aussi été réalisée. Une dernière partie envisage le cadre d'un plan d'observation aléatoire de la partie fonctionnelle.

**Mots-clés :** Modèles semi-paramétriques, modèles partiellement linéaires, ondelettes, estimation fonctionnelle adaptative, régression à pas aléatoires, backfitting, M-estimation, moindres carrés pénalisés.

**Jean-Philippe BRAEUNIG**

Directeurs de thèse : Jean-Michel GHIDAGLIA et Benoît DESJARDINS (CMLA, Cachan).

**Sur la simulation d'écoulements multi-matériaux par une méthode eulérienne directe avec capture d'interfaces en dimensions 1, 2 et 3.**

*Soutenue le 17 décembre 2007 au CMLA, Cachan*

La méthode présentée dans ce mémoire vise à résoudre numériquement les équations d'Euler en 2D/3D modélisant l'écoulement de plusieurs matériaux compressibles, non-miscibles et de natures différentes. Il s'agit en particulier de reconstruire une interface d'épaisseur nulle entre ces matériaux, sans introduire de mélange entre eux. L'originalité de cette méthode purement eulérienne réside dans l'utilisation d'un schéma volumes finis direct. Le concept de "condensat" est introduit et étudié dans ce mémoire, qui permet de calculer l'évolution de l'interface dans la grille eulérienne fixe. De plus, cette méthode permet un glissement parfait des matériaux les uns par rapport aux autres et une conservation locale des grandeurs eulériennes. La qualité de la méthode est évaluée par des cas-tests académiques ainsi que par des cas-tests éprouvant la robustesse de la méthode.

**Mots-clés :** Hydrodynamique compressible, schéma numérique, méthode directe, reconstruction d'interfaces, glissement, interfaces.

**Nicolas BRUYERE**

Directeurs de thèse : Dominique BLANCHARD et Olivier GUIBE (Université de Rouen).

**Comportement asymptotique de problèmes posés dans des cylindres.**

**Problèmes d'unicité pour les systèmes de Boussinesq.**

*Soutenue le 17 décembre 2007 à l'Université de Rouen*

La thèse est composée de deux parties indépendantes. Dans la première partie, on étudie le comportement asymptotique de problèmes elliptiques et paraboliques à données  $L^1 + W^{-1,p'}$  (respectivement  $L^1 + L^p(0, T; W^{-1,p'})$  dans le cas parabolique), dans des domaines devenant infiniment grands. En utilisant le cadre des solutions renormalisées et les résultats de régularité des solutions pour de telles données, on prouve, sous certaines hypothèses structurelles sur les variables d'espace, des résultats de convergence dans les espaces de régularité des solutions. Dans la seconde partie, dans le cas de la dimension 2, on étudie des systèmes de type Boussinesq. Ces systèmes dérivent de modèles de mécanique des fluides et consistent en un couplage des équations de Navier-Stokes incompressibles et de l'équation de la chaleur. On s'intéresse essentiellement aux questions d'unicité de la solution, particulièrement délicate à prouver du fait du couplage très non linéaire entre les équations. On travaille dans le cadre des solutions faibles pour les équations de Navier-Stokes et dans le cadre des solutions renormalisées pour des problèmes paraboliques pour l'équation de la chaleur. On établit tout d'abord

## RÉSUMÉS DE THÈSES

des résultats de régularité pour ces équations puis on montre plusieurs résultats d’existence et d’unicité de la solution du système pour de petites données.

**Mots-clés** : Problèmes elliptiques et paraboliques, comportement asymptotique dans des cylindres infinis, systèmes de Boussinesq, solutions renormalisées, équations de Navier-Stokes, résultats d’unicité.

**Fikri HAFID**

Directeur de thèse : Frédéric DIAS (CMLA, Cachan).

### **Modèles aérodynamiques pour l’aéroélasticité.**

*Soutenue le 21 décembre 2007 au CMLA, Cachan*

Cette thèse a pour objectif principal d’améliorer la précision de la prédiction des phénomènes aéroélastiques dynamiques en transsonique. Deux voies ont été explorées. La première approche, étendant les solveurs linéarisés en versions fréquentielles, consiste à linéariser un solveur non linéaire basé sur une formulation aux éléments finis stabilisés des équations de Navier-Stokes. La seconde approche, étant une alternative à cette dernière, consiste à déterminer une fonction de transfert de l’écoulement à étudier. On excite notre système par une perturbation donnée, et on recueille la réponse à cette excitation. Ainsi, on détermine par transformée de Fourier la fonction de transfert du système pour toutes les fréquences comprises dans une certaine gamme. Une fois cette dernière déterminée, il nous sera possible d’obtenir la réponse à un certain nombre de perturbations.

**Jean-Pascal JACOB**

Directeurs de thèse : Jean-Michel MOREL et Corinne Vachier-Mammar (CMLA, Cachan).

### **Analyse d’IRM taggées en vue de la caractérisation de l’ischémie cardiaque.**

*Soutenue le 9 janvier 2008 au CMLA, Cachan*

Au premier plan des maladies cardiaques, l’infarctus du myocarde est une lésion majeure car irréversible. Une étape intermédiaire à l’infarctus a été mise en évidence assez récemment : c’est l’ischémie cardiaque, qui est une atteinte de moindre gravité pour laquelle un espoir de guérison est permis. Ce thème concentre aujourd’hui nombre des recherches médicales car, dans le même temps, la fréquence des accidents ischémiques est estimée croissante pour les prochaines décennies. Dans ce domaine, les Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) développent différents protocoles d’étude sur cobayes qui nécessitent une caractérisation précise de la fonction cardiaque à partir d’images obtenues par résonance magnétique (ciné IRM et IRM taggées). C’est sur ce point précis qu’intervient le travail de recherche présenté dans ce mémoire. Il s’agit très exactement d’exploiter les données obtenues par IRM afin de caractériser numériquement les déformations cardiaques. L’analyse du mouvement par IRM taggée n’est pas un sujet nouveau, mais les requêtes cliniques s’affinant, les solutions logicielles doivent constamment être

améliorées. Bien plus qu’un simple ajustement d’outils existants, ce travail aborde d’une nouvelle manière l’analyse du mouvement par IRM taggée. La question du suivi des tags est reformulée et une méthode originale est proposée (la méthode ETC) qui privilégie la robustesse et la rapidité des traitements. Les premières évaluations et exploitations cliniques ont démontré une nette amélioration des résultats obtenus par cette méthode en comparaison des solutions antérieures et notamment aux endroits où l’observation est la plus délicate, c’est-à-dire sur les frontières des organes. D’autre part, nous proposons un modèle 2D de la contraction cardiaque qui fournit aux médecins des paramètres pertinents et de grande précision pour la caractérisation locale et globale de la fonction cardiaque. La mise en oeuvre du logiciel présenté dans ce mémoire est le résultat d’une collaboration étroite avec les utilisateurs puisque le logiciel est utilisé intensivement par les radiologues des HUG dans leurs activités de recherche.

**Edith TAILLEFER**

Directeur de thèse : Mohamed MASMOUDI (Univ. Paul Sabatier Toulouse III).

**Méthodes d’optimisation d’ordre zéro avec mémoire en grande dimension : application à la compensation des aubes de compresseurs et de turbines.**

*Soutenue le 13 février 2008 à l’Université Paul Sabatier Toulouse III*

Cette thèse s’est déroulée en partenariat entre l’Institut de Mathématiques de Toulouse, où de nouvelles méthodes d’optimisation ont été introduites et Snecma, où elles ont été appliquées à l’optimisation de la compensation des aubes de turbomachines. Les méthodes d’optimisation d’ordre zéro ont connu un essor considérable ces dernières années en raison des difficultés posées par le calcul du gradient qui peut avoir un domaine de validité extrêmement réduit. Deux outils généraux d’optimisation d’ordre zéro avec mémoire en grande dimension sont proposés. L’idée de base consiste à exploiter toutes les évaluations de la fonction coût générées au cours du processus d’optimisation afin de créer un modèle approché. La génération d’un nouveau point doit tenir compte d’un double objectif : se rapprocher du point optimum et assurer une bonne approximation de la fonction coût à l’étape suivante. Parmi toutes les techniques d’approximation classiques, nous avons considéré pour cette étude, uniquement celles assurant l’approximation d’une constante avec précision. En effet, si ce critère n’est pas satisfait, des minima locaux sans rapport avec le problème physique peuvent apparaître. Pour cette raison, nous avons alors retenu seulement deux méthodes : les réseaux neuronaux et les sparse grid. Cette dernière méthode émergente ouvre de nouvelles perspectives dans différents domaines scientifiques en raison de son caractère hiérarchique et adaptatif. L’efficacité de ces deux techniques est démontrée sur des fonctions analytiques, puis validée sur le problème industriel de la compensation.

**Sonia HEDLI-GRICHE**

Directeurs de thèse : Mustapha RACHDI et Karim BENHENNI (UPMF)

**Estimation de l'opérateur de régression pour des données fonctionnelles et des erreurs corrélées.**

*Soutenue le 17 janvier 2008*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Pierre Mendès-France*

Dans les recherches que nous présentons dans ce mémoire, nous étudions le problème de la modélisation non paramétrique lorsque les données statistiques sont des courbes. Plus précisément, nous nous intéressons à des problèmes de prévision à partir d'une variable explicative à valeurs dans un espace de dimension éventuellement infinie. Récemment, des travaux ont été réalisés sur l'estimation fonctionnelle opératorielle sous des conditions d'indépendance des données fonctionnelles. Dans cette thèse, nous nous sommes affranchis de cette hypothèse en considérant que les données fonctionnelles sont dépendantes et/ou que le processus d'erreur est stationnaire (à courte ou à longue mémoire). Nous avons étudié et estimé, donc, l'opérateur de régression sur plusieurs facettes : quand les données fonctionnelles (dépendantes) sont déterministes ou aléatoires, quand le processus d'erreur est à courte ou longue mémoire, normalité asymptotique quand le processus d'erreur est négativement associé, choix local/global de la largeur de fenêtre, étude de la pertinence de nos résultats théoriques sur des données simulées puis sur des données réelles.

**Hai Yen NGUYEN**

Directeur de thèse : Frédéric DIAS (CMLA, Cachan).

**Models for interfacial waves and their numerical integration.**

*Soutenue le 1er février 2008 au CMLA, Cachan*

Under the effect of solar radiation and salinity, water in the oceans, rivers and lakes can be stratified at a certain depth by a sudden change in density. The lighter layer lays over the heavier layer. The solitary waves which appear at the interface between these two layers can have an influence on ships travelling in this region and even present a danger for them. They can also damage submerged engineering constructions such as oil platforms and rail and road tunnels lying on the seabed. This thesis is devoted to two systems of equations capable of modelling this kind of waves. These systems are obtained by using two different methods. The propagation as well as the collision between two solitary waves are simulated numerically. Iterative filtering allows a quantitative study of the run-up and phase shift generated by these collisions.

**Keywords :** Interfacial waves, solitary waves, flat solitary waves, Boussinesq equations, two-layer fluid, head-on collision, overtaking collision, run-up, phase shift.

## Annonces de Colloques

*par* Thomas HABERKORN

### Juin 2008

CONFERENCE ON STOCHASTIC NETWORKS 2008

*du 23 au 28 juin 2008, à Paris*

<http://www.liafa.jussieu.fr/~gmerlet/StochasticNetworks/>

ECOLE D'ÉTÉ CEA-EDF-INRIA : MODEL REDUCTION AND REDUCED BASIS

*du 23 juin au 4 juillet 2008, à Saint Lambert des Bois*

<http://www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/2008/reduc/index.fr.html>

OPTIMAL CONTROL THEORY IN SPACE AND QUANTUM DYNAMICS

*les 24 et 25 juin 2008, à Dijon*

<http://math.u-bourgogne.fr/topo/colloques/WorkShop-1.pdf>

EQUATIONS DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES : ANALYSE, ANALYSE SPECTRALE, MÉTHODES NUMÉRIQUES, SIMULATION

*du 25 au 27 juin 2008, à l'IHP (Paris)*

<http://www.math.univ-toulouse.fr/MBA2008/>

10ÈMES RENCONTRES MATHÉMATIQUES DE ROUEN, EDP ET APPLICATIONS : MÉTHODES ASYMPTOTIQUES, BIOMATHÉMATIQUES

*du 25 au 27 juin 2008, à Rouen*

<http://www.univ-rouen.fr/LMRS/RMR08/rmr08.html>

SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICAL METHODS FOR CURVES AND SURFACES *du 26 juin au 1er juillet 2008, à Toensberg (Norvège)*

<http://heim.ifi.uio.no/~cagd/>

ECMI 2008 : THE EUROPEAN CONSORTIUM FOR MATHEMATICS IN INDUSTRY *du 30 juin au 4 juillet 2008, à Londres (Royaume-Uni)*

<http://www.ecmi2008.org/>

---

ANNONCES DE COLLOQUES

**Juillet 2008**

INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING

*du 1 au 3 juillet 2008, à Cherbourg-Octeville*

<http://www.stlo.unicaen.fr/icisp2008/>

38ÈME ÉCOLE D'ÉTÉ DE PROBABILITÉS DE SAINT-FLOUR

*du 6 au 19 juillet 2008, à Saint-Flour*

<http://math.univ-bpclermont.fr/stflour/>

SIAM CONFERENCE ON IMAGING SCIENCE

*du 7 au 9 juillet 2008, à San Diego (Californie)*

<http://www.siam.org/meetings/is08/>

INTERNATIONAL WORKSHOP ON APPLIED PROBABILITY (IWAP2008)

*du 7 au 10 juillet 2008, à Compiègne*

<http://www.lmac.utc.fr/IWAP2008/>

THE 10TH INT. CONF. ON INTEGRAL METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING

*du 7 au 10 juillet 2008, à Santander (Espagne)*

<http://www.imse08.unican.es/>

2008 SIAM ANNUAL MEETING

*du 7 au 11 juillet 2008, à San Diego (Californie)*

<http://www.siam.org/meetings/an08/>

EUROPEAN WOMEN IN MATHEMATICS/EUROPEAN MATHEMATICAL SOCIETY

*le 13 juillet 2008, à Amsterdam (Pays-Bas)*

<http://www.5ecm.nl/JOINT%20EWM.pdf>

5ÈME CONGRÈS EUROPÉEN DE MATHÉMATIQUES

*du 14 au 18 juillet 2008, à Amsterdam (Pays-Bas)*

<http://www.5ecm.nl/>

CEMRACS 2008, MODÉLISATION ET SIMULATION DE FLUIDES COMPLEXES

*du 21 juillet au 29 août 2008, à Luminy*

<http://www.smai.emath.fr/cemracs/cemracs08/>

VII BRAZILIAN WORKSHOP ON CONTINUOUS OPTIMIZATION IMECC-UNICAMP

*du 28 au 31 juillet 2008, à Campinas (Brésil)*

<http://www.brazopt2008.org/>

---

ANNONCES DE COLLOQUES

---

18TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE MATHEMATICAL THEORY OF NETWORKS AND SYSTEMS (MTNS 2008)

*du 28 juillet au 1er août 2008, à Blacksburg (Virginie)*

<http://www.cpe.vt.edu/mtns08/>

**Septembre 2008**

2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY DESIGN OPTIMIZATION AND APPLICATIONS

*du 2 au 5 septembre 2008, à Gijon (Espagne)*

<http://www.asmdo.com/conference2008/conference/index.html>

APPROCHES PLURIELLES EN DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES. APPRENDRE À FAIRE DES MATHÉMATIQUES DU PRIMAIRE AU SUPÉRIEUR : QUOI DE NEUF ?

*du 4 au 6 septembre 2008, à Paris*

<http://www.didirem.math.jussieu.fr/didirem.html>

COLLOQUE MONUM : MODELISATION MATHÉMATIQUE ET SIMULATIONS NUMÉRIQUES POUR LA CONSERVATION DES MONUMENTS

*les 5 et 6 septembre 2008, à Orléans*

<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/cordier/MONUM/>

FIRST EUROPEAN SUMMER SCHOOL IN MATHEMATICAL FINANCE

*du 6 au 14 septembre 2008, à Paris*

<http://www.ceremade.dauphine.fr/~bouchard/ESCMF/>

ECOLE CEA-EDF-INRIA : MODÈLES NUMÉRIQUES POUR LA FUSION CONTRÔLÉE

*du 8 au 12 septembre 2008, à l'Université de Nice Sophia-Antipolis*

<http://www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/2008/fusion/index.fr.html>

CIME-EMS SCHOOL IN APPLIED MATHEMATICS

*du 8 au 19 septembre 2008, à Pistoia (Italie)*

<http://web.math.unifi.it/users/cime//Courses/2008/course.php?codice=20084>

COLLOQUE EN L'HONNEUR DE PATRICK HABETS ET JEAN MAWHIN (NODE 2008)

*du 10 au 12 septembre 2008, à Bruxelles (Belgique)*

<http://www.math.ucl.ac.be/membres/NODE2008/home.php>

---

ANNONCES DE COLLOQUES

---

ESTIMATEURS D'ERREUR A POSTERIORI POUR LES MÉTHODES D'ÉLÉMENTS FINIS  
*les 11 et 12 septembre 2008, à Valenciennes*

[http://www.univ-valenciennes.fr/lamav/Emmanuel.Creuse/SITE\\_WEB\\_ECOLE\\_ESTIMATEURS/index.html](http://www.univ-valenciennes.fr/lamav/Emmanuel.Creuse/SITE_WEB_ECOLE_ESTIMATEURS/index.html)

5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE QUANTITATIVE EVALUATION OF  
SYSTEMS (QEST) 2008

*du 14 au 17 septembre 2008, à Saint-Malo*

<http://www.qest.org/qest2008/>

TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ZARAGOZA-PAU ON APPLIED MATHE-  
MATICS AND STATISTICS

*du 15 au 17 septembre 2008, à Jaca (Espagne)*

<http://pcmap.unizar.es/~jaca2008/>

ECOLE CEA-EDF-INRIA "MÉTHODES NUMÉRIQUES POUR LES ÉQUATIONS D'HA-  
MILTON -JACOBI ET LES LOIS DE CONSERVATIONS HYPERBOLIQUES"

*du 15 au 19 septembre 2008, à Rocquencourt*

<http://www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/2008/hamilton/index.fr.html>

7TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON RARE EVENT SIMULATION

*du 24 au 26 septembre 2008, à Rennes*

<http://resim.irisa.fr/>

**Octobre 2008**

SCALING UP AND MODELING FOR TRANSPORT AND FLOW IN POROUS MEDIA

*du 13 au 16 octobre 2008, à Dubrovnik (Croatie)*

<http://web.math.hr/~jurak/Dubrovnik08/>

**Novembre 2008**

COPI'08, CONFERENCE ON OPTIMIZATION AND PRACTICES IN INDUSTRY

*du 26 au 28 novembre 2008, à Clamart*

<http://www.copiconf.org/>

**Janvier 2009**

ECOLE D'ÉTÉ "DYNAMIQUE DES POPULATIONS, CONTRÔLE ET APPLICATIONS"

*du 3 au 18 janvier 2009, à Point-à-Pitre*

<http://www.cimpa-icpam.org/Francais/Prog2009/Guadeloupe09.html>

## Notes de lecture

par Paul SABLONNIÈRE

**B. CONVERT** : *Les impasses de la démocratisation scolaire. Sur une prétendue crise des vocations scientifiques*, Edts Raisons d'Agir, 96 pages ISBN 2-912-107-33-4

Ce petit livre ne concerne pas uniquement les mathématiques, mais traite de problèmes qui nous touchent directement, comme son sous-titre le précise. Les éditions « Raison d'agir » publient des études intéressantes que les grandes maisons d'édition refusent car les auteurs, et les thèmes traités ne sont pas dans l'air du temps ou abordés dans une perspective qui ne va pas dans les grands courants de ce que pense l'"opinion générale", ou les milieux bien informés, c'est-à-dire la grande presse et les officiels de la politique.

Il faut absolument lire cet ouvrage, très court, qui se lit facilement et qui expose des points de vue montrant que la communauté scientifique dans son ensemble et les mathématiciens en particulier sont victimes de cette argumentation officielle véhiculée par les médias : la baisse des effectifs dans les disciplines qui nous concernent directement, les filières scientifiques, serait la conséquence d'un désintérêt des jeunes pour les sciences ou, pour reprendre une expression à la mode, d'un désamour des jeunes pour les sciences alors que des sondages d'opinion mettent en évidence que la science et la recherche jouissent toujours d'un grand prestige. Cette contradiction apparente est en fait le thème principal du livre.

Dans une brève introduction, l'auteur se fait l'avocat du diable en reprenant les thèmes favoris de la grande presse y compris de la presse spécialisée dans les problèmes de l'éducation : « les jeunes n'aiment pas la science », « les études scientifiques sont trop difficiles », « la baisse générale du niveau des bacheliers entraîne de mauvais choix vers des filières pré professionnalisées liées à des études courtes », « la démocratisation au niveau des collèges et des lycées a bouleversé le paysage éducatif français », « les études universitaires seraient trop éloignées des propositions offertes par l'industrie, l'économie, les services », cette liste n'est pas exhaustive. Bernard Convert va essayer de reprendre certaines de ces idées et montrer à l'aide de tableaux, d'analyses que si les clichés évoqués correspondent à une certaine réalité de façade, des études plus fines montrent une façon dont les politiques, les journalistes triturent des données pour les interpréter à la lumière d'idéologies qui marquent notre époque : l'éducation, la formation initiale, doivent être des marchandises, elles doivent rentrer dans des cadres imposés par l'Organisation Mondiale du Commerce, c'est-à-dire dans des critères de moindre coût, de rentabilité à court terme, sans tenir compte des évolutions long terme et de la nécessité de donner aux futurs acteurs de la vie économique les moyens de se reconvertir en cas de besoin, des reconversions ne manqueront pas de se produire au niveau individuel comme le montre les tendances

lourdes de ces dernières années : il n'existe pratiquement pas de métiers pour la vie, des recyclages seront inévitables et risquent d'être fréquents au cours de la vie professionnelle dont la durée a une nette tendance à l'accroissement. Dans cette introduction un tableau montre que la baisse des effectifs à l'entrée de l'université atteint toutes les disciplines théoriques, aussi bien les sciences que les lettres et le droit, seules les études à vocation professionnelle comme la médecine, voient leurs effectifs augmenter malgré la longueur et la difficulté; toutefois, peut-être pour d'autres raisons, certaines spécialités dans le domaine de la santé connaissent de sérieux déficits. De plus la baisse des effectifs, toutes disciplines confondues, commence vers l'année 1995 et se poursuit depuis.

Le premier chapitre, "A l'heure où le baccalaurat ne distingue plus", commence par une citation de J.-P. Chevènement datant de 2004 : il revient sur l'idée lancée lorsqu'il était ministre de l'Education nationale : 80% d'une classe d'âge au niveau du baccalauréat cette idée aurait été mal interprétée par les politiques et l'administration qui auraient compris : 80% d'une classe d'âge devrait obtenir le baccalauréat. On trouvera dans ce chapitre une analyse de l'évolution des dénominations des différentes filières des baccalauréats pour aboutir à la classification actuelle qui ne satisfait personne : la section S qui devrait former les futurs scientifiques serait en fait un outil de sélection des meilleurs lycéens quel que soit le choix fait pour les études universitaires. Certains intervenants sur le sujet avancent la particularité du système français avec ses grandes écoles, ses possibilités plus ou moins récentes des classes préparatoires, des IUT, des BTS, d'une certaine variété et d'une grande rigidité des premiers cycles universitaires malgré les réformes constantes avec le dernier avatar engendré par la mise en place du LMD. En fait partout dans le monde entier on constate une évolution de la baisse des effectifs dans toutes les disciplines universitaires, avec à la clé la même observation sur la baisse du niveau des étudiants entrant et sortant de l'université. A ce propos, il est curieux et paradoxal, malgré des observations sur le long terme, que l'on n'ait pas encore compris que plus on diminue la qualité d'un service moins on a de clients! D'ailleurs pour la France, certaines années on a assisté à une augmentation des effectifs en médecine alors que la barre des connaissances avait été montée de plusieurs crans et que le *numerus clausus* était devenu encore plus sévère. A plusieurs reprises les arguments qui ont entraîné l'Université à proposer de plus en plus de filières à vocation professionnelle sont repris pour montrer que les étudiants ont en fait privilégié les études courtes à utilité immédiate permettant de décrocher rapidement un emploi, alors qu'ils auraient pu, ou souhaité, poursuivre des études plus longues s'ils avaient bénéficié d'aides, - à une certaine époque, les difficultés de recrutement de professeurs dans l'enseignement secondaire avaient permis de mettre en place les IPES. Il est clair que les difficultés rencontrées par les étudiants issus des classes modestes n'encouragent pas à se lancer dans des études longues à débouchés peu assurés et ceci indépendamment du fait que l'on aime ou que l'on n'aime pas la science!

Le chapitre 2, « On ne change pas la hiérarchie des disciplines par décret » commence par un paragraphe provocateur : « Casser la série C ». A partir de tableaux et d'arguments convaincants on retrouve les analyses bien connues mais mal interprétées des inconvénients d'avoir laissé filer la section C vers l'«excellence», et une sélection a priori des meilleurs éléments toutes filières confondues, y compris les filières littéraires : nos collègues de lettres se plaignent aussi de l'absence de bons élèves dans les filières non scientifiques du secondaire et du supérieur. Les deux paragraphes suivants nous concerne en tant que scientifiques : "Un effet inattendu de la réforme des baccalauréats : la chute de la physique-chimie", et "Les mathématiques, voie royale ; la physique-chimie, allée latérale". Il faut lire ces deux parties de l'ouvrage pour comprendre les mécanismes profonds qui nous ont conduit à cet état de désaffection analysé dans la suite.

Justement le troisième chapitre intitulé : "Vous avez dit "désaffection",?" reprend une série d'arguments avancés par ceux qui voudraient trouver des thèses conformes à leurs intérêts immédiats mais peu en accord avec la réalité des tendances lourdes sur le long terme. Commencé par une citation d'un rapport sur l'enseignement des disciplines scientifiques présenté à l'Assemblée Nationale le 2 mai 2006, dans ce chapitre on trouve des manières d'aborder des sujets dont la pertinence est loin d'être plausible : les études ne seraient ni plus "longues", ni plus "difficiles", que naguère, mais l'air du temps et la perspective de débouchés peu clairement identifiés changeraient les critères de choix des étudiants et influenceraient leurs parents par exemple dans les annonces, hors enseignement et recherche, on ne trouvait jamais le mot mathématicien pour désigner une fonction assurée par un acteur de la vie professionnelle, même si de l'avis général "les mathématiques sont partout" ! Toutefois dans un paragraphe intitulé "Chercheur, médecin, ingénieur : les métiers scientifiques plébiscités", en s'appuyant sur des tableaux, Bernard Convert montre que la réalité contredit ceux qui pensent que les jeunes n'aiment pas la science. La dernière partie, "Etudier les sciences, une perspective internationale", revient sur une évolution lourde à l'échelon mondial : il compare la situation dans différentes disciplines et différents pays à partir du choix de la chimie en Allemagne pays internationalement reconnu pour l'excellence dans la formation et la qualité de ses ingénieurs et techniciens de cette discipline. En Allemagne, dans certaines universités prestigieuses on envisage de fermer des chaires de chimie, mondialisation et délocalisation obligent ! Ce chapitre s'achève sur le paragraphe assez clair : "Allemagne, Italie, France, trois idaux-types". Dans une brève conclusion sont repris certains points forts traités et des pistes possibles sont explorées pour montrer que la pédagogie n'est certainement pas le seul moyen de changer la situation et qu'il serait nécessaire de lancer des études sérieuses pour améliorer les formations dans l'intérêt de la collectivité non seulement au plan national, mais mondial.

Tout au long du texte on trouvera des tableaux ; des notes et les abréviations sont renvoyées à la fin du livre, ce qui rend la lecture un peu discontinue, mais ce petit inconvénient ne devait pas arrêter le lecteur. J'ai fait l'observation suivante : très

souvent lorsque dans des discussions on aborde des sujets de société comme celui qui est traité ici, les intervenants ont rarement une vue globale des implications de telle ou telle réforme et que les arguments avancés sont partiels, voire partiiaux et insuffisamment étayés sur des faits réels. Même si on ne partage pas tous les points de vue de l’auteur, je crois qu’il faut absolument lire ce livre qui devrait aussi figurer dans la documentation de ceux qui nous gouvernent et qui pourraient s’en inspirer avant d’entreprendre des réformes dont ils ne maîtriseront pas les effets à court et long termes.

Par G. TRONEL

NATHALIE CASPARD, BRUNO LECLERC ET BERNARD MONJARDET : *Ensembles ordonnés finis : concepts, résultats et usages*, volume 60, collection “Mathématiques & Applications”.

Enfin l’édition d’un livre complet et en français sur les ensembles ordonnés finis ! C’est un plaisir de compiler ce manuel présenté de façon très pédagogique dans une rédaction claire et rigoureuse. Les objectifs de ce livre, annoncés par les auteurs eux-mêmes, sont largement atteints : présenter les résultats fondamentaux, faire le point sur l’état de l’art du domaine et les recherches en cours, et montrer la variété de leurs applications.

Après avoir redonné les bases indispensables, l’ouvrage étudie les classes particulières usuelles d’ensembles ordonnés, les morphismes entre 2 ensembles, les nombres d’éléments incomparables dans des ensembles ordonnés tels que les ordres de Sperner, les treillis distributifs ainsi que l’extension et la dimension d’un ordre. Un chapitre entier est consacré à des applications à divers domaines comme la modélisation des préférences, la classification ou les ordonnancements en recherche opérationnelle. Dans chaque chapitre, le rappel du contexte historique apporte un éclairage différent, des textes d’exercices permettent de vérifier sa compréhension et de nombreux schémas facilitent la lecture. Les annexes portant sur la théorie de la complexité et les types d’ordre pourront être très utiles à certains lecteurs. Un index complet et la présentation des notations utilisées complètent l’ouvrage.

L’érudition des auteurs, bien connus pour leur expertise dans le domaine, transparaît tant dans la façon de traiter les sujets que dans la richesse des connaissances apportées et dans l’abondante bibliographie. Rares sont les ouvrages actuellement disponibles qui réunissent l’ensemble des connaissances sur le sujet et qui font le lien avec la théorie des graphes et les mathématiques discrètes. La qualité du livre de Caspard, Leclerc et Monjardet, dans son fond et dans sa forme, devrait inciter enseignants, chercheurs et étudiants de diverses disciplines, allant des mathématiques aux sciences sociales, en passant par exemple par la recherche opérationnelle, l’informatique, ou encore la biologie, à l’acheter au plus vite.

Par MARIE-CHRISTINE COSTA

CORRESPONDANTS RÉGIONAUX

**Amiens** *Serge Dumont*  
LAMFA  
Université Picardie Jules Verne  
33 rue Saint Leu 80039 AMIENS Cedex  
01 Tél. : 03 22 82 75 91  
Serge.Dumont@u-picardie.fr

**Antilles-Guyane** *Marc Lassonde*  
Mathématiques  
Université des Antilles et de la Guyane  
97159 POINTE A PITRE  
Marc.Lassonde@univ-ag.fr

**Avignon** *Alberto Seeger*  
Département de Mathématiques  
Université d'Avignon  
33 rue Louis Pasteur - 84000 AVIGNON  
Tél. 04 90 14 44 93 - Fax 04 90 14 44 19  
alberto.seeger@univ-avignon.fr

**Belfort** *Michel Lenczner*  
Laboratoire Mécatronique 3M - UTBM  
90010 Belfort Cedex  
Tél. : 03 84 58 35 34 - Fax : 03 84 58 31 46  
Michel.Lenczner@utbm.fr

**Besançon** *Jean-Marie Crolet*  
Mathématiques  
UFR Sciences et Techniques  
16 route de Gray  
25030 Cedex BESANÇON  
Tél : 03 81 66 63 16 - Fax : 03 81 66 66 23  
jean-marie.crolet@univ-fcomte.fr

**Bordeaux** *Olivier Saut*  
Laboratoire MAB, UMR 5466  
Université de Bordeaux I  
351 cours de la Libération  
33405 TALENCE Cedex  
Tél. : 05 40 00 61 47, Fax : 05 40 00 26 26  
olivier.saut@math.u-bordeaux1.fr

**Brest** *Marc Quincampoix*  
Département de Mathématiques  
Faculté des Sciences  
Université de Bretagne Occidentale  
BP 809 - 29285 BREST Cedex  
Tél. : 02 98 01 61 99, Fax : 02 98 01 61 28  
Marc.Quincampoix@univ-brest.fr

**Cachan ENS** *Frédéric Pascal*  
CMLA-ENS Cachan  
61 avenue du Président Wilson  
94235 CACHAN Cedex  
Tél. : 01 47 40 59 46  
frederic.pascal@cmla.ens-cachan.fr

**Caen** *Alain Campbell*  
Université de Caen - LMMMN  
BP 5186  
14032 CAEN cedex  
Tél. : 02 31 56 74 80  
campbell@meca.unicaen.fr

Laboratoire de Mathématiques  
Université Blaise Pascal  
Campus Universitaire des Cézeaux  
63177 AUBIERE Cedex  
Tél. : 04 73 40 79 65 - Fax : 04 73 40 70 64  
Olivier.Bodart@math.univ-bpclermont.fr

**Compiègne** *Véronique Hédou-Rouillier*  
Équipe de Mathématiques Appliquées  
Département Génie Informatique  
Université de Technologie  
BP 20529 - 60205 COMPIEGNE Cedex  
Tél : 03 44 23 49 02 - Fax : 03 44 23 44 77  
Veronique.Hedou@dma.utc.fr

**Dijon** *Christian Michelot*  
UFR Sciences et techniques  
Université de Bourgogne  
BP400 - 21004 DIJON Cedex  
Tél. : 03 80 39 58 73 - Fax : 03 80 39 58 90  
michelot@u-bourgogne.fr

**Evry** *Laurent Denis*  
Département de Mathématiques  
Université d'Évry Val d'Essonne  
Bd. F. Mitterrand  
91025 EVRY Cedex  
Tél. : 01 69 47 02 01 - Fax : 01 69 47 02 18  
laurent.denis@univ-evry.fr

**Grenoble** *Brigitte Bidegaray-Fesquet*  
Laboratoire Jean Kuntzmann  
Université Joseph Fourier - BP 53  
38041 GRENOBLE Cedex 9  
Tél. : 04 76 51 48 60 - Fax : 04 76 63 12 63  
Brigitte.Bidegaray@imag.fr

CORRESPONDANTS RÉGIONAUX

**Israël** *Ely Merzbach*  
Dept. of Mathematics and Computer Science  
Bar Ilan University. Ramat Gan.  
Israël 52900  
Tél. : (972-3)5318407/8 - Fax : (972-3)5353325  
merzbach@macs.biu.ac.il

**La Réunion** *Philippe Charton*  
Dépt. de Mathématiques et Informatique  
IREMIA,  
Université de La Réunion - BP 7151  
97715 SAINT-DENIS Cedex 9  
Tél. : 02 62 93 82 81 - Fax : 02 62 93 82 60  
Philippe.Charton@univ-reunion.fr

**Le Havre** *Adnan Yassine*  
ISEL -Quai Frissard  
B.P. 1137 - 76063 LE HAVRE Cedex  
Tél. : 02 32 74 49 16 - Fax : 02 32 74 49 11  
adnan.yassine@univ-lehavre.fr

**Le Mans** *Alexandre Popier*  
Université du Maine, Dpt de Math.  
Avenue Olivier Messiaen  
F-72085 LE MANS Cedex 9  
Tél. : 02 43 83 37 19  
alexandre.popier@univ-lemans.fr

**Liban** *Hyam Abboud*  
Faculté des Sciences et de Génie Informatique  
Université Saint-Esprit de Kaslik  
BP 446 Jounieh, LIBAN  
Tél. : 961 9 600 914 - Fax : 961 70 938 428  
hyamabboud@usek.edu.lb

**Lille** *Caterina Calgaro*  
Laboratoire Paul Painlevé - UMR 8524  
Université des Sciences et Technologies  
Bat. M2, Cité Scientifique,  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex  
Tél. : 03 20 43 47 13 - Fax : 03 20 43 68 69  
Caterina.Calgaro@univ-lille1.fr

**Limoges** *Samir Adly*  
XLIM - Univ. de Limoges  
123 avenue A. Thomas  
87060 LIMOGES Cedex  
Tél. : 05 55 45 73 33- Fax : 05 55 45 73 22  
adly@unilim.fr

**Lyon** *Thierry Dumont*  
Institut Camille Jordan  
Université Claude Bernard Lyon 1  
43 bd du 11 Novembre 1918  
69622 VILLEURBANNE Cedex  
Tél. : 04 72 44 85 23  
tdumont@math.univ-lyon1.fr

**Marne La Vallée** *Alain Prignet*  
Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées  
Univ. de Marne-la-Vallée -Cité Descartes  
5 bd Descartes  
77454 MARNE-LA-VALLEE Cedex 2  
Fax : 01 60 95 75 34 - Fax : 01 60 95 75 45  
alain.prignet@univ-mlv.fr

**Maroc** *Khalid Najib*  
École nationale de l'industrie minérale  
Bd Haj A. Cherkaoui, Agdal  
BP 753, Rabat Agdal  
01000 RABAT  
Tél. : 212 37 77 13 60 - Fax : 212 37 77 10 55  
najib@enim.ac.ma

**Mauritanie** *Zeine Ould Mohamed*  
Equipe de Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées  
Faculté des Sciences et Techniques  
Université de Nouakchott  
BP 5026 - NOUAKCHOTT  
Tél : 222 25 04 31 - Fax : 222 25 39 97  
zeine@univ-nkc.mr

**Metz** *Jean-Pierre Croisille*  
Laboratoire de Mathématiques  
Université de Metz  
Bât. A, Ile du Saulcy  
57 045 METZ Cedex 01  
Tél. : 03 87 31 54 11 - Fax : 03 87 31 52 73  
croisil@poncelet.univ-metz.fr

**Montpellier** *Jérôme Droniou*  
Département de Mathématiques  
Université de Montpellier II, CC51  
Place Eugène Bataillon  
34095 MONTPELLIER Cedex 05  
Tél : 04 67 14 42 03 - Fax : 04 67 14 35 58  
droniou@math.univ-montp2.fr

**Nantes** *Francoise Foucher*  
Info-Maths  
Ecole Centrale de Nantes - BP 92101  
44321 NANTES Cedex 3.  
Tél : 02 40 37 25 19  
francoise.foucher@ec-nantes.fr

**Nancy** *Marius Tucsnak*  
Institut Elie Cartan  
Université de Nancy 1 - BP 239  
54506 VANDOEUVRE les NANCY cedex  
Tél. : 03 83 68 45 63 - Fax : 03 83 68 45 34  
Marius.Tucsnak@iecn.u-nancy.fr

**New York** *Rama Cont*  
IEOR Dept & Center for Applied probability  
Columbia University  
500 W120th St, Office 316  
New York, NY 10027 (USA)  
Rama.Cont@columbia.edu

**Nice** *Chiara Simeoni*  
Lab. Jean-Alexandre Dieudonné  
UMR CNRS 621  
Université de Nice, Parc Valrose  
06108 NICE Cedex 2  
Tél. : 04 92 07 60 31 - Fax : 04 93 51 79 74  
simeoni@math.unice.fr

**Orléans** *Maitine Bergounioux*  
Dépt. de Mathématiques - UFR Sciences  
Université d'Orléans - BP 6759  
45067 ORLEANS Cedex 2  
Tél. : 02 38 41 73 16 - Fax : 02 38 41 72 05  
maitine.bergounioux@univ-orleans.fr

**Paris I** *Jean-Marc Bonnisseau*  
UFR 27 - Math. et Informatique  
Université Paris I - CERMSEM  
90 rue de Tolbiac 75634 PARIS Cedex 13  
Tél. : 01 40 77 19 40 - Fax : 01 40 77 19 80  
Jean-Marc.Bonnisseau@univ-paris1.fr

**Paris V** *Chantal Guihenneuc-Jouyaux*  
Laboratoire de statistique médicale  
45 rue des Saints Pères - 75006 PARIS  
Tél. : 01 42 80 21 15 - Fax : 01 42 86 04 02  
chantal.guihenneuc@univ-paris5.fr

**Paris VI** *Olivier Glass*  
Laboratoire Jacques-Louis Lions,  
Case courrier 187  
Univ. Pierre et Marie Curie  
4 place Jussieu - 75250 PARIS Cedex 05  
Tél. : 01 44 27 71 69 - Fax : 01 44 27 72 00  
glass@ann.jussieu.fr

**Paris VI & Paris VII** *Stephane Menozzi*  
Lab. de Probabilités et Modèles Aléatoires  
Univ. Pierre et Marie Curie - Case courrier  
188  
4 place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05  
Tél. : 01 44 27 70 45 - Fax : 01 44 27 72 23  
menozzi@ccr.jussieu.fr

**Paris-Dauphine** *Clément Mouhot*  
CEREMADE - Univ. de Paris-Dauphine  
Place du Mal de Lattre de Tassiny  
75775 PARIS Cedex 16  
Tél. : 01 44 05 48 71 - Fax : 01 44 05 45 99  
cmouhot@ceremade.dauphine.fr

**Paris XI** *Benjamin Graille*  
Mathématiques, Bât. 425  
Univ. de Paris-Sud - 91405 ORSAY Cedex  
Tél. : 01 69 15 60 32 - Fax : 01 69 15 67 18  
Benjamin.Graille@math.u-psud.fr

**Paris XII** *Yuxin Ge*  
UFR de Sciences et Technologie  
Univ. Paris 12 - Val de Marne  
61 avenue du Général de Gaulle  
94010 CRETEIL Cedex  
Tél. : 01 45 17 16 52  
ge@univ-paris12.fr

**Ecole Centrale de Paris** *Florian De Vuyst*  
Ecole Centrale de Paris  
Laboratoire Mathématiques Appliquées aux  
Systèmes,  
Grande Voie des Vignes,  
92295 Châtenay-Malabry cedex France  
Tél. : 01 41 13 17 19 - Fax : 01 41 13 14 36  
florian.de-vuyst@ecp.fr

**Pau** *Brahim Amaziane*  
Laboratoire de Mathématiques Appliquées-  
IPRA - Université de Pau  
Avenue de l'Université - 64000 PAU  
Tél. : 05 59 40 75 47 - Fax : 05 59 40 75 55  
brahim.amaziane@univ-pau.fr

**Perpignan** *Didier Aussel*  
Département de Mathématiques  
Université de Perpignan  
52 avenue de Villeneuve  
66860 PERPIGNAN Cedex  
Tél. : 04 68 66 21 48 - Fax : 04 68 06 22 31  
aussel@univ-perp.fr

**Poitiers** *Morgan Pierre*  
Laboratoire de Mathématiques  
Université de Poitiers  
Tlport 2 - BP 30179  
Bd Marie et Pierre Curie  
86962 FUTUROSCOPE CEDEX  
Tél. : 05 49 49 68 85 - Fax : 05 49 49 69 01  
Morgan.Pierre@math.univ-poitiers.fr

**Ecole Polytechnique** *Carl Graham*  
CMAP - Ecole Polytechnique  
91128 PALAISEAU  
Tél. : 01 69 33 46 33 - Fax : 01 69 33 30 11  
carl@cmapx.polytechnique.fr

**Rennes** *Virginie Bonnaillie-Nol*  
ENS Cachan, Antenne de Bretagne  
Avenue Robert Schumann  
35170 BRUZ  
Tél. : 02 99 05 93 45 - Fax : 02 99 05 93 28  
Virginie.Bonnaillie@bretagne.ens-cachan.fr

**Rouen** *Ellen Saada*  
LMRS, UMR 6085 CNRS  
Université de Rouen  
Avenue de l'Université, BP.12  
Technopole du Madrillet  
76801 Saint-Etienne-du-Rouvray  
Tél. : 02 32 95 52 62 - Fax : 02 32 95 52 86  
Ellen.Saada@univ-rouen.fr

**Saint-Etienne** *Alain Largillier*  
Laboratoire Analyse Numérique  
Université de Saint Étienne  
23 rue du Dr Paul Michelon  
42023 ST ETIENNE Cedex 2  
Tél. : 04 77 42 15 40 - Fax : 04 77 25 60 71  
larg@univ-st-etienne.fr

**Savoie** *Stéphane Gerbi*  
Université de Savoie  
LAMA - UMR CNRS 5127  
73376 LE BOURGET DU LAC Cedex  
Tél. : 04 79 75 87 27 - Fax : 04 79 75 81 42  
stephane.gerbi@univ-savoie.fr

**Strasbourg** *Martin Campos Pinto*  
IRMA - Université Louis Pasteur  
7 rue René Descartes  
67084 STRASBOURG Cedex  
Tél. : 03 90 24 02 05  
campos@math.u-strasbg.fr

**Toulouse** *Marcel Mongeau*  
Laboratoire MIP, Univ. Paul Sabatier  
31062 TOULOUSE Cedex 04  
Tél. : 05 61 55 84 82 - Fax : 05 61 55 83 85  
mongeau@cict.fr

**Tours** *Christine Georgelin*  
Laboratoire de Mathématiques et Physique  
Théorique  
Faculté des Sciences et Techniques de Tours  
7 Parc Grandmont - 37200 TOURS  
Tél. : 02 47 36 72 61 - Fax : 02 47 36 70 68  
georgelin@univ-tours.fr

**Tunisie** *Henda El Fekih*  
ENIT-LAMSIN  
BP37 1002 - TUNIS-BELVEDERE  
Tél. : 2161-874700 - Fax : 2161-872729  
henda.elfekih@enit.rnu.tn

**Uruguay** *Hector Cancela*  
Universidad de la República  
J. Herrera y Reissign 565  
MONTEVIDEO  
Tél. : 598 2 7114244 - Fax : 598 27110469  
cancela@fing.edu.uy

**Versailles-St Quentin** *Tahar Boulmezaoud*  
Laboratoire de Mathématiques  
Université de Versailles SQY  
45 avenue des États-unis  
78035 VERSAILLES  
Tél. : 01 39 25 36 23 Fax : 01 39 25 46 45  
boulmezaoud@math.usvq.fr



# CEMRACS'08

Centre d'été mathématique de recherche avancée en calcul scientifique

## Modelling and Numerical Simulation of Complex Fluids

21<sup>st</sup> July - 29<sup>th</sup> August 2008  
Marseille, France

**Summer School**  
21<sup>st</sup> July - 26<sup>th</sup> July

**Research Session**  
28<sup>th</sup> July - 29<sup>th</sup> August

Six-week Young Researcher Grants available

*Cemracs'08 is the opportunity for mathematicians and physicists to address some of the challenges in scientific computing raised by the modelling of complex fluids for industrial applications. By developing high performance numerical tools to simulate the microscopic motion of such fluids, we aim at investigating the effect of small scale phenomena onto the macroscopic behaviour of complex mixtures.*

### Organizing Committee

Jean-Baptiste Apoung Kamga (Orsay)  
Laurent Boudin (Paris)  
Mourad Ismail (Grenoble)  
Sébastien Martin (Orsay)  
Bertrand Maury (Orsay)  
Chaouqi Misbah (Grenoble)  
Takéo Takahashi (Nancy)

### Summer School Speakers

George Biros (Philadelphia)  
Daniel Bonn (Paris)  
Frédéric Dubois (Montpellier)  
Elizabeth Guazzelli (Marseille)  
John Hinch (Cambridge)  
Tony Lelièvre (Marne-la-Vallée)  
Mohammed Naaim (Grenoble)  
Thomas Podgorski (Grenoble)  
Jacques Prost (Paris)  
Marius Tucsnak (Nancy)  
Philippe Villedieu (Toulouse)

[cemracs@smi.emath.fr](mailto:cemracs@smi.emath.fr)

<http://smi.emath.fr/cemracs/cemracs08/>

© A. Lelievre (Université Paris-Sud 11), S. Faure (CMPS)

Nancy-Université  
Université Henri Poincaré

UPMC  
UNIVERSITÉ PARIS UNIVERSITÉS

UNIVERSITÉ

DGA

SMI

INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE

UNIVERSITÉ  
JOSEPH FOURIER  
SCIENTIFICS TECHNOLOGIE SANTÉ

CNRS  
CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ  
JOSEPH FOURIER  
SCIENTIFICS TECHNOLOGIE SANTÉ