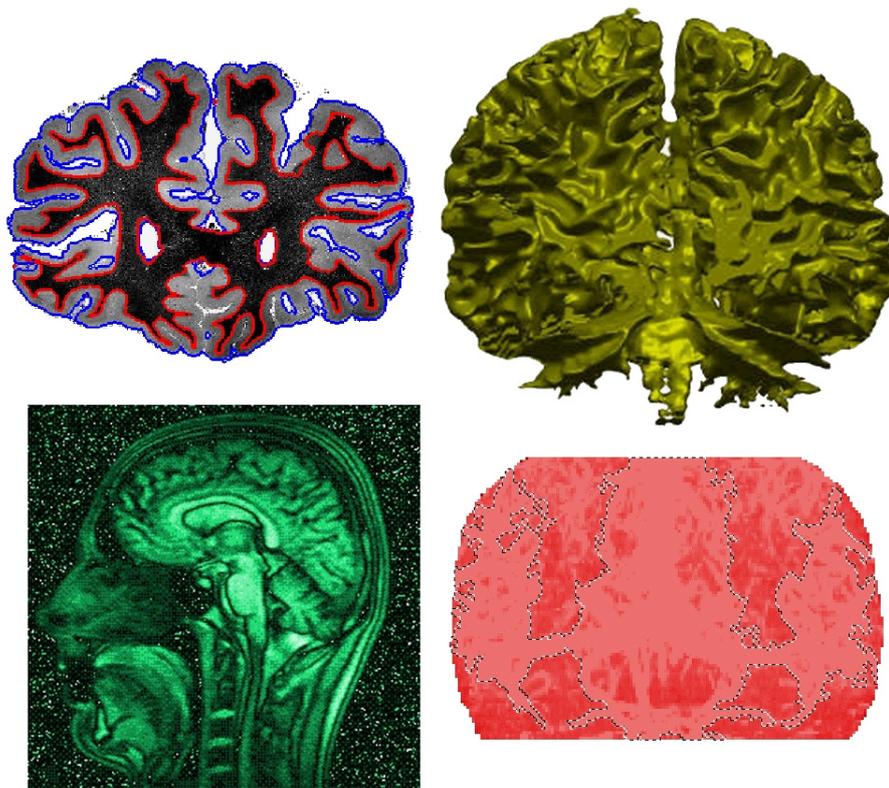


*SMAI* MATAPLI

SOCIÉTÉ DE MATHÉMATIQUES  
APPLIQUÉES ET INDUSTRIELLES



N° 85 • FEVRIER 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

Images de couverture : Haut : Segmentation of brain data by a multilayer level set approach et White matter segmentation of volumetric MRI brain data.  
Bas : Segmentation d'images bruitées. (Crédits : Haut : G. Chung and L. Vese (UCLA); Bas : D. Apprato (UPPA))

MATAPLI - Bulletin n 85- FEVRIER 2008- Édité par la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles.

**Directeur de la publication**

Denis Talay, Président de la Smai, Institut Henri Poincaré, Paris.

**Publicité et relations extérieures**

G. Tronel - 175, rue du Chevaleret - 75013 Paris

Tél. : 01 44 27 72 01 - Fax : 01 44 27 72 00

**Composition et mise en page**

Christian Gout

**Impression**

STEDI - 1 boulevard Ney - 75018 Paris- Dépôt légal imprimeur

## Sommaire

SOMMAIRE

Éditorial .....	3
Compte-rendus des CA et bureaux .....	7
Élection de Roger Temam à l'Académie des Sciences .....	15
Bilan du Comité Scientifique Disciplinaire Mathématiques et Interactions (CSD 5) de l'ANR .....	17
Vie de la communauté .....	21
Du côté des industriels .....	29
Compte-rendus de manifestations .....	39
Le projet PLUME .....	43
Le classement des pages du web par les moteurs de recherche .....	47
Modélisation mathématique en biologie et en médecine .....	59
Annonces de thèses .....	85
Annonces de colloques .....	103
Revue de presse .....	107
Liste des correspondants régionaux .....	109

*Date limite de soumission des textes pour le Matapli 86 : 15 mai 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

EDITORIAL

Au moment où j’écris ces quelques lignes il est encore temps de présenter des vœux. Je renouvelle donc, très chaleureusement, mes souhaits d’heureuse année 2008 pour vous-mêmes et vos proches.

La nouvelle la plus importante pour la SMAI concerne ses publications. Nous créons un nouveau journal, MathematicS In Action (je vous laisse trouver le lien entre les lettres majuscules et la SMAI). En voici, en primeur, la ligne éditoriale :

*Le journal a pour principal objectif de favoriser les interactions des mathématiques avec d’autres disciplines en publiant des articles se situant à leurs interfaces et écrits par au moins deux auteurs, l’un appartenant à la communauté mathématique, l’autre appartenant à une autre communauté scientifique (biologie, médecine, économie, informatique, physique, chimie, mécanique, sciences de l’environnement, sciences de l’ingénieur, etc.). Les articles portent sur des questions de conception, d’analyse et de validation de modèles, de méthodes numériques et/ou de méthodes expérimentales. Ils comportent obligatoirement à la fois une partie mathématique et, au choix, des résultats numériques ou expérimentaux. Chaque article doit être utile et globalement accessible aux communautés de leurs auteurs. Chaque article soumis est évalué par un mathématicien et un spécialiste de l’autre domaine concerné. Pour être accepté un article doit être de la plus haute qualité scientifique, original, et fortement interdisciplinaire. Le journal est électronique. Chaque année une édition papier sera diffusée à quelques bibliothèques.*

Les premiers éditeurs en chef en seront Yvon Maday, Président du Conseil Scientifique de la SMAI, et moi-même. Nous espérons recevoir vos prochains travaux interdisciplinaires. Vous trouverez les indications de format à respecter et

---

ÉDITORIAL

l'adresse d'envoi de vos manuscrits en consultant le tout nouveau tout beau site Web de la SMAI.

Yvon et moi remercions Jérôme Droniou, Vice-Président en charge des publications, pour l'énergie dépensée à nous aider à mettre le journal en route.

Par ailleurs, j'ai le plaisir d'annoncer le premier lauréat du Grand Prix NATIXIS-SMAI décerné par l'Académie des Sciences, destiné à récompenser un chercheur de moins de quarante ans en finance quantitative, et créé à l'initiative de la Fondation d'Entreprise NATIXIS et de la SMAI : toutes mes amicales félicitations à Huyên Pham, professeur à l'université Paris 7, spécialiste du contrôle stochastique appliqué à la finance.

*Bien amicalement à tous,  
Denis Talay,  
Président de la SMAI*

## Editorial

*par* Christian GOUT

ÉDITORIAL

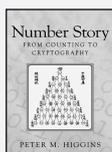
Je tiens tout d'abord à remercier Maïtine Bergounioux, qui m'a précédé dans ce rôle de rédacteur en chef, pour les nombreux conseils qu'elle a pu me donner (ainsi que ses fichiers de style LaTeX!), et me faciliter ainsi la prise en charge de MATAPLI.

Ce numéro se place naturellement dans la continuité des précédents, en poursuivant notamment la mise en exergue des relations avec l'Industrie, qu'il s'agisse d'aspects liés à la recherche, de transferts de technologie ou de la sensibilisation de nos étudiants aux applications industrielles des mathématiques. Nous essaierons également de présenter le fonctionnement de la recherche ainsi que son évaluation ailleurs dans le monde, comme cela a d'ailleurs pu être fait pour l'Australie dans le numéro 83 de MATAPLI. Ces aspects sont importants, surtout à une période où l'enseignement supérieur français est dans une phase de réformes profondes (AERES, PRES ...).

Naturellement, au travers de MATAPLI, nous ferons en sorte de continuer à diffuser au mieux les nombreux travaux de la SMAI. Le dynamisme et la diversité des membres de la SMAI doivent continuer à favoriser l'expansion et le développement des Mathématiques Appliquées dans la communauté scientifique. MATAPLI fera en sorte, comme précédemment, de jouer un rôle constructif et efficace en matière de communication, et j'invite l'ensemble des membres de la SMAI à se mobiliser pour relayer des informations qu'ils jugeraient utiles à notre discipline.

*Meilleurs Voeux pour 2008... avec beaucoup de beaux résultats mathématiques !!!*

## New from Springer



### Number Story

From Counting to  
Cryptography

**P. M. Higgins**, University of  
Essex, UK

This is an introduction to the development of numbers and their applications. It blends easy material with more challenging ideas about infinity and complex numbers and is full of examples. There are historical notes and short digressions, while a final chapter provides the mathematical detail for those who would like to know more about the questions and techniques highlighted.

2008. XII, 324 p. 33 illus. Hardcover  
ISBN 978-1-84800-000-1 ► € 19,95 | £13.00

### Isomonodromic Deformations and Frobenius Manifolds

An Introduction

**C. Sabbah**, CNRS, France

Based on a series of graduate lectures, this book provides an introduction to algebraic geometric methods in the theory of complex linear differential equations. Starting from basic notions in complex algebraic geometry, it develops some of the classical problems of linear differential equations and ends with applications to recent research questions related to mirror symmetry.

2008. Approx. 305 p. (Universitext) Softcover  
ISBN 978-1-84800-053-7 ► € 46,95 | £30.50

### The Interactive Geometry Software Cinderella.2

**U. H. Kortenkamp**, Pädagogische Hochschule, Schwäbisch Gmünd, Germany;  
**J. Richter-Gebert**, Technische Universität, München, Germany

The new version of this well-known interactive geometry software, has become an even more versatile tool than its predecessor. The geometry component extends the functionality to such spectacular objects as dynamic fractals, and the software includes two major new components: physical simulation such as of mechanical objects, virtual electronic devices, and electromagnetic properties.

Version 2.0 2008. CD-ROM, with handbook  
ISBN 978-3-540-33422-4 ► € 64,95 | £50.00

### History of Mathematics

A Supplement

**C. Smorynski**, Westmont, IL, USA

This unique book fills two gaps which exist in the standard textbooks on the History of Mathematics. One is to provide the students with material that could encourage more critical thinking. The second aim is to include the proofs of important results which are typically neglected in the modern history of mathematics curriculum.

2008. VI, 274 p. 42 illus. Hardcover  
ISBN 978-0-387-75480-2 ► € 39,95 | £30.50

**Easy Ways to Order for the Americas** ► **Write:** Springer Order Department, PO Box 2485, Secaucus, NJ 07096-2485, USA ► **Call: (toll free)** 1-800-SPRINGER ► **Fax:** 1-201-348-4505  
► **Email:** orders-ny@springer.com or **for outside the Americas** ► **Write:** Springer Distribution Center GmbH, Haberstrasse 7, 69126 Heidelberg, Germany ► **Call:** +49 (0) 6221-345-4301 ► **Fax:** +49 (0) 6221-345-4229  
► **Email:** SDC-bookorder@springer.com ► Prices are subject to change without notice. All prices are net prices.

013514x

## Comptes-rendus de la SMAI

*par* Serge PIPERNO

### Compte-rendu du Bureau de la SMAI du 29 octobre 2007

*Présents* : J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, P. Lascaux, C. Picard, S. Piperno (rédacteur), D. Talay.

#### 1. Fonctionnement SMAI

- les archives récentes des lettres smai-info et de comptes-rendus du Bureau et du CA sont désormais en ligne sur le site web de la SMAI ;
- utilisation de liste-smai et smai-info : "liste-smai" est une liste permettant d'atteindre les adhérents, à utiliser avec parcimonie pour des sujets généraux, importants et urgents ; "smai-info" est une lettre d'information, dont la parution pourrait devenir mensuelle. La réception de smai-info peut-elle être activée par défaut pour les nouveaux adhérents ?
- le Conseil Scientifique, présidé par Yvon Maday, approuvé par le bureau, sera présenté au prochain CA ;
- Robert Eymard est volontaire pour représenter la SMAI au CA de la SMF ;
- le bureau du 11/1/2008 sera commun avec la SMF (IHP, horaire envisagé : 16h-18h). L'ordre du jour est à préparer notamment lors du CA du 7/11

#### 2. Nouvelles des groupes thématiques

- les 4 groupes thématiques actuels ont mis jour leur site web selon la nouvelle terminologie (le site d'AFA étant provisoire) et proposé une composition de comité de liaison, soumise à l'approbation du CA du 7/11 ;
- les GT AFA (lors de "l'AG du groupe") et MAS (lors des journées MAS 2008) comptent procéder à des élections de leur CL. Il convient de rappeler que :
  - le règlement intérieur de la SMAI stipule que "Tous les adhérents de la SMAI peuvent contribuer et participer aux activités de l'ensemble des groupes thématiques".
  - si des élections permettent dans l'esprit de faire contrôler par les pairs la pertinence scientifique de la composition d'un comité de liaison (ce qui est aussi fait par le CA), ces élections doivent être ouvertes à tous les membres de la SMAI.
- le CA désigne en séance les comités de liaison.

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

### 3. Publications

- Le processus de désignation (proposition, choix, contact) des éditeurs en chef des revues de la SMAI, lorsque leur mandat arrive à terme et qu'ils doivent être remplacés, mérite d'être clarifié :
  - le CA s'appuie sur les spécialistes les plus proches de la revue concernée pour lui proposer des noms ;
  - le CA fait des choix (ordonnés, etc...) ;
  - le bureau contacte les éditeurs en chef sélectionnés.
- EDPS souhaite aller progressivement vers l'open access des articles, financé par les auteurs ; EDPS souhaite aussi proposer l'accès libre des archives de plus de 5 ans (le bureau n'y voit pas d'inconvénient, tout comme l'accès libre aux "Articles sous presse") ;
- nouvelle revue "MathematicS In Action" :
  - le projet sera présenté pour approbation au prochain CA ;
  - le bureau a discuté de l'hébergement électronique de la nouvelle revue par le CEDRAM, qui met disposition la mise-en-ligne du journal et de ses archives, le système de gestion éditeurs/reviewers, des templates LaTeX éventuellement ; une couverture juridique n'est pas forcément nécessaire ;
  - il reste du secrétariat et de la composition. Ceci demande des ressources financières supplémentaires ; il semble opportun de demander des soutiens CNRS et INRIA pour cette nouvelle revue.
- Un soutien CNRS et INRIA pourrait être demandé pour ESAIM Proc., seul journal non soutenu.

### 4. Relations avec l'industrie (et adhésions)

- journée d'études SMAI-Thalès : une centaine de personnes ont participé à cette journée, qui fut un grand succès ; une contribution sous la forme d'un compte-rendu est prévue dans un prochain numéro de MATAPLI.
- P. Lascaux a présenté les journées en cours de montage (journée avec l'ECL sur l'automobile le 13/3, journée Teratec sur le calcul scientifique le 3/6).
- projet de lettre pour l'adhésion de partenaires industriels :
  - gestion des offres d'emploi : indépendamment du passage la nouvelle version du site www, le service que l'on peut offrir dès maintenant est la possibilité de mise en ligne, façon "Actualités", d'offres d'emploi sur le site de la SMAI.
  - les différents tarifs d'adhésion seront soumis au prochain CA
- une lettre similaire pour les laboratoires universitaires va être préparée et la campagne 2008 d'adhésion des personnes physiques doit aussi être lancée (après clôture des comptes 2007 et basculement 2008)

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

---

### 5. Relations extérieures

- la manifestation INRIA/SMAI/AS autour des prix 2007 en maths et en informatique devrait être organisée le 17 décembre après-midi.
- la SMAI a demandé un soutien financier de l'ambassade de France en Espagne pour la prochaine Ecole Franco-Espagnole J.-L. Lions ;
- Robert Eymard a représenté la SMAI au CA du CIMPA (le 8/9).
- relations avec le Collectif "Action Sciences" : la situation doit être clarifiée, en relation avec les autres sociétés savantes que "Action Sciences" est censé représenter. Ce collectif doit également se doter de statuts, par exemple prendre la forme d'une association d'associations, contrôlée par son CA.
- Socle L : une discussion avec un membre du "Comité Socle L." est prévue lors du prochain CA.

### 6. Site Web

- la maquette du nouveau site de la SMAI proposée par Pauline Lafitte, Frédéric Lagouttière et Maria Esteban a été présentée.

### Compte-rendu – CA SMAI – 7 novembre 2007

*Présents.* G. Allaire, M. Bergounioux, M. Bouhtou, D. Chapelle, J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, E. Godlewski, C. Gout, J.-P. Hiriart-Urruty, P. Lafitte, P. Lascaux, M. Lavielle, C. Le Bris, B. Lucquin, J. Mairesse, C. Picard, S. Piperno, B. Prum, D. Talay.

*Excusés et/ou représentés.* F. Alouges, P. Chenin, S. Cordier, M. Langlais, M. Mongeau, R. Touzani. *Absents.* J.-F. Boulier.

*Invités.* P. Arnoux (IML, comité "Socle L", présent), G. Carlier (SMAI-MODE, présent), J.-F. Delmas (SMAI-MAS, présent), V. Girardin (représentante de la SMF, présente), Y. Maday (président du Conseil Scientifique, présent), J.-M. Bonnissieu (Commission enseignement, absent), E. Gouin-Lamourette (représentant de l'IHP, absent), M.-L. Mazure (SMAI-AFA, absente), G. Oppenheim (représentant de la SFdS, absent).

#### 1. Approbation CR et fonctionnement CA

Le compte-rendu du Conseil d'Administration du 2 juillet 2007 est approuvé l'unanimité. Le CA a donné son accord pour fonctionner de manière plus électronique (approbation du CR et consultation plus fréquente par voie électronique).

#### 2. Conseil Scientifique de la SMAI

Yvon Maday, président du Conseil Scientifique de la SMAI, a présenté une première ébauche de composition du Conseil Scientifique. Cette liste se compose d'ex-

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

---

perts renommés en mathématiques appliquées, étrangers pour la moitié. L'absence de personnalités relevant d'autres domaines scientifiques, qui a été relevée, n'exclut pas de faire appel, au cas par cas, à ces personnalités ou d'autres experts. Le Conseil d'Administration a souhaité la compléter par une ou deux personnes relevant du monde industriel.

Le CA a donné mandat à Yvon Maday pour compléter cette liste et contacter les membres pressentis.

### 3. Finances et Adhésions

- La SMAI dispose d'actifs plus ou moins risqués (obligations, actions, placements monétaires, placements retraite). Le CA a débattu de l'opportunité de reventiler ces placements vers des actifs moins risqués et de conserver ces actifs (leur montant approche deux années de charges d'exploitation, mais une partie des fonds sont utilisés à la façon d'une fondation, les intérêts acquis finançant certaines opérations récurrentes).

La discussion a montré à la fois le désir de maintenir une politique de prudence, en gardant des réserves permettant de couvrir d'éventuelles difficultés ponctuelles, et celui d'investir une partie de ces sommes dans des actions de développement de la SMAI et de ses publications, avec l'aide de recrutements temporaires.

- relance des adhésions de personnes morales : un projet de lettre destinée aux industriels a été approuvé par le CA (moyennant l'ajout d'une mention de la thématique CAO-Géométrie). Un appel à suggestion de contacts industriels a été lancé. Une lettre similaire sera envoyée aux partenaires académiques.

- la campagne 2008 d'adhésions des personnes physiques va être lancée.

- les tarifs (inchangés par rapport 2006) et le budget prévisionnel du Canum'2008 ont été présentés et approuvés.

### 4. Nouvelles des Groupes Thématiques

Les quatre groupes thématiques actuels étaient invités à présenter au CA leur comité de liaison et les principales activités envisagées pour 2008.

GT MODE :

– comité de liaison : G. Carlier (responsable), J.-N. Corvellec (responsable financier), J. Bolte (responsable financier adjoint), S. Adly (secrétaire), L. Andrieu, D. Aussel, J.-M. Bonnissieu, F. Bonnans, M. Bouhtou, A. Cabot, B. Cornet, M.-O. Czarnecki, A. Habbal, J.-B. Hiriart-Urruty, O. Ley, M. Mongeau, A. Pietrus, T. Tomala.

– activités 2008 : journées MODE 2008 (février, Clermont-Ferrand) couplées aux journées ROADEF (il est demandé de soumettre un budget prévisionnel au CA) et 6èmes journées Franco-Chiliennes (mars, Toulon)

---

COMPTES RENDUS CA & BUREAU

---

GT MAS :

- comité de liaison : J.-F. Delmas (responsable), J.-M. Bardet (responsable financier), B. Bercu, M. Deaconu, P. Del Moral, J.-M. Loubes, J. Mairesse, A. Philippe, V. Rivoirard, T. Simon, J. F. Yao.
- activités 2008 : Colloque “Jeunes probabilistes et statisticiens” (avril), “Journées MAS” (Rennes, août) avec comme thème principal ‘Modèles et Statistiques des réseaux).

GT AFA :

- comité de liaison : M.-L. Mazure (responsable), P. Chenin (responsable financier), J.-L. Merrien (secrétaire), A. Cohen, O. Gibaru, C. Gout, P. Sablonnière.
- activités planifiées : journées AFA en novembre 2007<sup>1</sup>.

GT GAMNI :

- comité de liaison : G. Allaire (responsable jusqu’à fin 2007), R. Abgrall (responsable à partir de 2008), D. Chapelle (responsable financier), B. Desprès, F. Jouve, M. Kern, M. Mallet, B. Mohammadi, F.-X. Roux, R. Touzani, I. Terrasse (un membre supplémentaire doit être désigné pour remplacer J.-L. Vaudescal).
- activités 2008 : l’appel pour le prix de thèse GAMNI devrait être lancé prochainement ; 20<sup>me</sup> séminaire de Mécanique des Fluides Numérique CEA-GAMNI (janvier, IHP) ; journée sur les solveurs linéaires en préparation (printemps)
- prix Blaise Pascal : la question de la revalorisation du prix a été abordée. Il est décidé de revaloriser le prix 3000€. Par ailleurs, le CA est favorable à un démarchage d’entreprises pour compenser ou augmenter cette revalorisation.

### 5. Publications

- Un nouveau comité éditorial pour ESAIM Proc. est en cours de formation. Une discussion a porté sur les modalités de renouvellement des éditeurs en chef (et éditeurs associés) des revues de la SMAI. Le CA propose de faire figurer ces procédures dans le règlement intérieur. La principale difficulté à gérer résulte des refus possibles d’éditeurs en chef pressentis. Une mouture claire de ces procédures sera présentée lors d’un prochain CA. Il faut également clarifier les durées de mandat des éditeurs en chef actuels !

Nouvelle revue “MathematicS In Action” : le CA donne son accord pour le lancement de la revue. Elle devrait être gratuite avec hébergement CEDRAM. Des financements CNRS et INRIA vont être demandés pour soutenir le secrétariat. Le CA désigne comme éditeurs en chef Denis Talay et Yvon Maday. Quelques questions ont été soulevées : les chances de référencement par Zentralblatt ou MathSciNet ou la relative dispersion des revues de la SMAI.

---

<sup>1</sup>NDLR : Cette journée a finalement été repoussée au 14 Mars 2008 suite aux grèves dans les transports en novembre.

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

- pour information, EDP Sciences envisage de passer progressivement en "open access".
- le CA sera sollicité pour participer à la réflexion sur l'opportunité de la numérisation de nos anciennes revues par NUMDAM.

### 6. Enseignement

Le CA avait invité Pierre Arnoux (Institut de Mathématiques de Luminy) pour une discussion autour du projet "Socle commun pour la licence" (projet de contenu minimal commun aux licences de mathématiques), notamment pour clarifier les échanges entre le Comité "Socle L" et la SMAI. Sur la forme : le CA confirme son soutien au comité et mandate J.-M. Bonnisseur et B. Lucquin pour représenter la SMAI au sein du comité "Socle L" et assurer ces échanges ; les projets en résultant devront être soumis pour approbation au CA. Sur le fond : il faudrait veiller à ce que le socle commun prenne en compte que la licence est un diplôme professionnalisant pour beaucoup d'étudiants, dont la finalité n'est pas uniquement de préparer au CAPES ou des troisièmes cycles ; par ailleurs, quelle valeur aura le texte une fois rédigé ? Il est suggéré de le soumettre par exemple à Pascal Auscher de l'AERES.

### 7. Site WWW

La maquette du nouveau site web est présentée par Pauline Laffite (contributions de Maria J. Esteban et Colette Picard). Le CA est très impressionné par la maquette et par le travail qui a été fait. Il remercie très chaleureusement Pauline, Maria et Colette. Le site devrait être activé très prochainement.

### 8. Relations extérieures

- SMF : il y aura un bureau commun SMAI-SMF le 11 janvier 2008. Ce sera l'occasion de discuter des actions communes à mener avec la SMF. François Alouges souhaite cesser de représenter la SMAI au CA de la SMF. Le CA désigne Robert Eymard pour le remplacer.
- EMS : l'EMS voudrait organiser d'autres conférences européennes en mathématiques appliquées. Le CA préconise plutôt de soutenir des conférences existantes, et ce message sera porté lors de la réunion du président de l'EMS avec les présidents des sociétés savantes européennes en mathématiques (CIRM, avril 2008).

### 9. Questions diverses

- changements de responsables de rubriques dans Matapli : Carole Le Guyader remplace Adel Blouza pour les "Résumés de thèses", et Thomas Haberkorn remplace Boniface N'Konga pour les "Congrès et colloques".

---

## COMPTES RENDUS CA & BUREAU

---

- Patrick Lascaux suggère que la SMAI s'implique davantage dans des manifestations autour du Calcul Intensif. Elle en a l'occasion dans la cadre des journées Teratec (3-4 juin 2008), pour lesquelles la participation de la SMAI est sollicitée. Le CA donne son accord.

### Compte-rendu – Bureau SMAI – 13 décembre 2007

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

#### 1. Fonctionnement SMAI

- le prochain bureau aura lieu le 11 janvier 2008 l'IHP, juste avant le bureau commun SMAI-SMF-SFDS ;
- le prochain CA aura lieu le 18 ou le 19 mars ( l'IHP, 14h), la date tant fixée dès que les emplois du temps des membres du CA seront mieux connus.

#### 2. Finances SMAI

- la campagne d'adhésions/ré-adhésions 2008 a été lancée
- une lettre va être envoyée à des industriels
- une campagne de recueil des noms de contacts et décideurs industriels doit être lancée, pour donner plus d'amplitude à notre campagne d'adhésions industrielles.
- placements SMAI : il est proposé que les actifs "Actions" et "Divers" (BNPP retraite) de la SMAI soient mis en mandat à la BNP, pour une gestion de type "prudent", quitte à faire évoluer cela dans le futur. Le mandat coûte 0.6 % du portefeuille confié (par an + frais de courtage lors des ventes et achats) et est interruptible à tout moment. Cette disposition permettra de rationaliser la gestion de nos actifs les plus "risqués".

#### 3. Commission enseignement

- La commission enseignement doit être renouvelée. C'est aussi l'occasion d'ajuster son fonctionnement. Le bureau va proposer au CA une nouvelle organisation avec un(e) Délégué(e) Général(e) ou Responsable Enseignement et des monômes/binômes chargés de suivre les différents dossiers. Le (la) Délégué(e) Général(e) ou Responsable Enseignement serait en charge d'assurer, d'une part, le suivi par les chargés de mission et, d'autre part, l'échange synthétique des informations avec le CA. Il reste à trouver des bonnes volontés !
- il pourrait être judicieux de créer une commission séparée pour la communication (comprenant les activités très chronophages dédiées au grand public)

---

COMPTES RENDUS CA & BUREAU

---

**4. Nouveau site www**

- le nouveau site www est quasi-opérationnel (il manque la partie formulaire et les actualités, qui est la partie la plus visitée dans l’ancien site) ;

**5. Publications**

- le sujet du co-financement EDP Sciences / SMAI pour la promotion de nos revues a été évoqué : il faudra probablement préciser les choses avec EDP Sciences. Le bureau estime qu’il est important que la SMAI soit présente d’une façon ou d’une autre à Amsterdam (ECM 2008)
- la parution gratuite de certains numéros d’ESAIM Proc pourrait être réactivée pour les manifestations SMAI principales (biennale, CEMRACS, CANUM)

**6. Bureau commun SMAI-SMF-SFDS 11/1/2008**

Quelques points pour l’ordre du jour du Bureau Commun SMAI-SMF-SFDS du 11/1/2008 ont été proposés.

**Compte-rendu – Bureau SMAI – 11 janvier 2008**

J. Droniou, M. J. Esteban, R. Eymard, P. Lascaux, C. Picard, S. Piperno.

**1. Secrétariat SMAI**

Un point précis a été fait sur les tâches de secrétariat accomplies par V. Vacelet (secrétariat de la SMAI et secrétariat éditorial). Le rapprochement comptabilité/base de données et le fait que la base de donnée soit désormais opérationnelle ont modifié la répartition effective du temps consacré aux différentes tâches. Celles-ci (et les temps correspondants) vont être précisées dans une nouvelle fiche de poste.

**2. Adhésions SMAI**

- la campagne d’adhésions/ré-adhésions 2008 se poursuit
- suite à la collecte lancée en fin d’année, les contacts industriels arrivent petit à petit ;
- laboratoires : une lettre de motivation des laboratoires pour adhérer à la SMAI va être rédigée. Elle pourrait être envoyée aux laboratoires et mise sur le site www.

**3. Prochain CA SMAI**

Il aura lieu à l’IHP le 18 ou le 19 mars après-midi (date fixée dès que possible). Quelques points à l’ordre du jour du prochain CA sont proposés.

**4. Bureau commun SMAI-SMF-SFDS 11/1/2008**

Discussion préparatoire au bureau commun.

## Election de Roger Temam l'Académie des Sciences

*par François Alouges*

J'ai été très heureux d'apprendre que Roger Temam avait été élu à l'Académie des sciences le 11 décembre 2007 en section Mécanique et Informatique. Véritable figure emblématique des mathématiques appliquées en France, Roger Temam travaille à l'interface entre la modélisation, l'analyse mathématique, l'analyse numérique et le calcul scientifique. Dans la lignée de l'école développée par Jacques-Louis Lions (son directeur de thèse), il s'est intéressé à plusieurs phénomènes typiquement non linéaires, provenant de la mécanique et de la physique.

Il a produit des contributions mathématiques majeures en mécanique des fluides classiques ou géophysiques, ainsi qu'en physique des plasmas ; plusieurs de ses articles ont ouvert de nouvelles voies de recherche et la plupart de ses livres sont devenus, dans leur domaine, des ouvrages de référence.

Roger Temam commence sa carrière par une première série de travaux concernant l'analyse numérique des équations de Navier-Stokes et d'équations d'évolution plus générales. L'étude de la stabilité et de la convergence de la méthode des pas fractionnaires, introduite par l'école russe, fait l'objet de sa thèse d'état dans un cadre général. Il décline ensuite une version de la méthode spécifiquement adaptée aux équations de Navier-Stokes ; également proposée par A. J. Chorin, cette méthode de projections s'appelle aussi désormais "méthode de Chorin-Temam".

La carrière de Roger Temam est jalonnée de collaborations industrielles. Il a été conseiller scientifique de plusieurs établissements (le CEA puis la CISI, mais aussi l'INRIA). C'est à l'occasion d'une de ces collaborations que Roger Temam travaille en 1975 avec des physiciens du centre du CEA de Fontenay-aux-Roses qui possède alors le Tokamak le plus puissant au monde. Il formalise mathématiquement le problème de l'équilibre du plasma dans la cavité et étudie le problème à frontière libre qui découle de la modélisation.

En parallèle, Roger Temam développe des travaux plus théoriques. Il étudie le concept de dualité en calcul des variations (ce qui le conduit la rédaction de deux livres), ou rédige une série de travaux consacrés l'équation de Korteweg-de Vries (ondes en eau peu profonde), l'équation de Kuramoto-Sivashinsky (instabilités et fronts de flamme) et aux équations d'Euler des fluides incompressibles.

Entre les années 1980 et 1990, Roger Temam étudie dans une série d'articles (en collaboration avec différents auteurs dont C. Foias) les attracteurs pour des équations d'évolution dissipatives. Il montre ainsi que les attracteurs associés aux

## ÉLECTION DE R. TEMAM À L'ACADÉMIE DES SCIENCES

équations de Navier-Stokes sont de dimension finie et fournit une borne de la dimension en fonction du nombre de Reynolds. Ces travaux auront un très grand écho dans la communauté des “équations aux dérivées partielles non linéaires”. Le comportement inattendu de ces systèmes dynamiques pourtant de dimension infinie le conduit à introduire le concept de variété inertielle puis pour l’application aux équations de Navier-Stokes, de variétés inertielles approchées, qui exprime le fait que les petites structures tourbillonnaires sont asservies par les grandes. Ce nouveau concept théorique aura aussi des répercussions au niveau algorithmique et Roger Temam s’en servira naturellement pour la conception et l’analyse de nouvelles méthodes de simulation numérique des équations de Navier-Stokes. Ces méthodes, maintenant connues sous le patronyme de “méthodes de Galerkin non linéaires” lui vaudront le prix “Seymour Cray” de simulation numérique en 1989.

Depuis une quinzaine d’années, Roger Temam se consacre à l’étude des écoulements géophysiques, atmosphère, océans en utilisant les équations fondamentales appelées équations primitives. Aprs une série de travaux sur le cas visqueux<sup>2</sup>, il regarde maintenant le cas sans viscosité, dont J. Tribbia a signalé l’importance, et qui pose des problèmes numériques et mathématiques tout à fait nouveaux, par exemple en ce qui concerne le choix des conditions aux limites.

Outre sa carrière scientifique impressionnante<sup>3</sup>, Roger Temam a aussi eu une activité d’encadrement doctoral hors du commun puisqu’on peut lui attribuer la direction de plus de cent thèses (de troisième cycle ou d’état) ce qui le place en tête du palmarès des directeurs de thèses les plus prolifiques<sup>4</sup>.



L’élection de Roger Temam (photo ci-contre) à l’Académie des sciences couronne une carrière académique exemplaire et récompense un mathématicien d’exception. Il s’agit là d’une excellente nouvelle pour les mathématiques appliquées et leurs connexions industrielles en général, et pour la SMAI en particulier, dont il fut le premier président de 1983 à 1987.

<sup>2</sup>Il s’agit d’une collaboration avec J.-L. Lions et S. Wang.

<sup>3</sup>Il a publié plus de 300 articles et onze livres.

<sup>4</sup>Source : <http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu>.

## Bilan du Comité Scientifique Disciplinaire Mathématiques et Interactions (CSD 5) de l'ANR

*par P. Collet, F. James, J.-C. Saut*

### 1 Bilan.

Les nouveautés par rapport à 2006 (voir [1]) sont de deux ordres. Tout d'abord un renouvellement assez important du comité. Ensuite la possibilité d'établir une liste de projets bidisciplinaires qui, examinés par deux CSD, sont financés, s'ils sont sélectionnés, sur une enveloppe budgétaire spécifique. Le financement total pour les projets relevant prioritairement du CSD 5 a été de 4308 k€, pour les deux programmes. La composition du CSD 5 en 2007 était la suivante :

Gilles Aubert, Naoufel Ben Abdallah, Christophe Besse, Christian Blanchet, Patrick Cattiaux, Antoine Chambert-Loir, Pierre Collet (vice-président), Fabienne Comte, Patrick Dehornoy, Jean Esterle, Christiane Frougny, Stéphane Gaubert, Pierre Pansu, Marc Quinampoix, Jean-Claude Saut (président), Rémi Sentis.

François James est Coordinateur Scientifique depuis 2005.

#### 1.1 Programme Jeunes Chercheurs

Nous avons 35 dossiers dont 21 concernaient le seul CSD 5. Huit projets ont été financés (soit 28% de projets proposés en CSD5 uniquement ou ayant la CSD5 comme section principale).

Pour les projets financés, le financement attribué varie entre 62 k€ et 135 k€. Les budgets demandés variaient entre 62 et 185 k€ pour les projets acceptés (entre 39 k€ et 270 k€ globalement). Ils ont été selon les cas acceptés en l'état, ou diminués d'environ 30%, ce dernier cas correspondant à un nombre trop élevé de post-docs. Le budget moyen attribué pour un projet financé est donc de 97 k€ environ (72 k€ en 2006), l'enveloppe globale étant de 775 k€.

Nous avons noté un excellent dossier bidisciplinaires, qui a été retenu d'ailleurs sur l'enveloppe spécifique.

#### 1.2 Programme Blanc

Nous avons 78 dossiers dont plus de la moitié concernaient également un autre Comité Scientifique, à des degrés divers, ce qui montre à l'évidence un net intérêt

pour l'ouverture vers d'autres disciplines, et cela pour des projets concernant aussi bien les mathématiques "pures" que les mathématiques "appliquées". Trois projets ont été financés comme projets bidisciplinaires, avec un budget moyen de 202 k€.

La dotation attribuée aux 16 autres projets retenus varie entre 92 et 310 k €, avec une moyenne de 208 k€ (195 k€ en 2006), soit une enveloppe globale de 3341 k€. Finalement, 32 % des projets relevant de la CSD 5 (mono ou principal) ont été financés.

La répartition du budget a été délicate. En cas de diminution du budget, nous avons eu le souci de ne pas dénaturer le projet. Pour les projets retenus, les budgets demandés allaient de 92 k € à 799 k€.

Comme pour le programme Jeunes Chercheurs, certains budgets ont été maintenus. D'autres ont été drastiquement réduits (en respectant la règle précitée). Ce cas correspondait à des postes de post-docs trop nombreux (par exemple un ou plusieurs post-docs par équipe concernée), alors que le vivier est relativement réduit, et/ou à un budget "missions/conférences" surdimensionné.

A contrario, nous avons rejeté un projet scientifiquement excellent (au sens de la qualité des participants et des thématiques proposées), mais demandant un budget pharaonique. En effet, ce projet (qui ressemblait plus à un projet de GDR avec 64 participants...) aurait été complètement dénaturé par une diminution drastique de son budget.

## 2 Commentaires

Nous avons essayé d'équilibrer les thématiques et tenu compte d'une sensibilité décentralisatrice mais sans qu'elle soit dommageable à la qualité scientifique.

Il est recommandé que le porteur principal soit fortement impliqué tout en respectant bien sûr la règle d'une implication totale inférieure ou égale à 100% dans tous les projets auxquels il participe. L'émiettement de nombreux participants à très faible pourcentage n'est pas non plus un facteur positif pour un projet, sauf cas particulier d'une expertise très pointue à justifier.

La cohérence scientifique du dossier doit bien être mise en valeur. Dans les demandes du programme "Jeunes Chercheurs" l'aspect structurant du projet doit aussi apparaître clairement.

Pour le programme "Jeunes Chercheurs", le critère d'âge n'est pas absolu. Le porteur typique doit être un jeune professeur ou un maître de conférences/chargé de recherches proche de l'habilitation.

Les projets doivent rester de taille raisonnable (voir le budget moyen attribué). L'ANR ne peut pas assurer un financement de type GDR. Il est bien sûr possible

de demander des budgets plus importants mais ces demandes doivent être justifiées plus en détails. Pour les demandes de post-docs il faut en particulier s’assurer qu’il existe un vivier suffisant dans le domaine et éventuellement préciser si des candidats sont en vue (contacts). Les budgets de missions et d’organisation de conférences doivent aussi être raisonnables et correspondre à des scénarios réalisables.

### 3 Conclusion

Le comité a été impressionné par la qualité scientifique des dossiers présentés. Les choix ont été difficiles ! Il a regretté par contre que certains dossiers, au demeurant excellents, présentent des budgets surdimensionnés. À l’évidence un message est à faire passer dans la communauté. Le comité a regretté également une baisse du nombre des dossiers Jeunes Chercheurs, alors que les candidats potentiels sont nombreux. Une certaine auto-censure – qui n’a pas lieu d’être – a sans doute joué.

### Références

- [1] P. Flajolet, F. James. Les Maths l’ANR en 2006. SMF Gazette, **112**, 81-84 (avril 2007), et MATAPLI, **83**, 45-48 (juin 2007).



Mathematics

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

## Vie de la communauté

par Stéphane DESCOMBES

### CHERCHEURS INVITÉS

Laboratoire Jean Kuntzmann et Université Joseph Fourier

**Carla Manni**, Università di Roma “Tor Vergata”.

1er mars - 30 avril - *Spécialité* : Approximation et Design Géométrique.

*Contact* : Marie-Laurence Mazure (Marie-Laurence.Mazure@imag.fr)

Université de Toulouse, UPS, Institut de Mathématiques (UMR 5219)

**Mikael Solodov**, Instituto de Matematica Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, Brésil.

Février 2008 - *Spécialité* : Optimisation, analyse numérique

*Contact* : Dominikus Noll, noll@mip.ups-tlse.fr

**Claudia Sagastizabal**, Instituto de Matematica Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, Brésil. Février 2008 - *Spécialité* : Optimisation numérique

*Contact* : Jean-Baptiste Hiriart-Urruty, jbh@cict.fr

**Michael Overton**, Courant Institute of the Mathematical Sciences New York University, USA. Mai 2008 - *Spécialité* : Optimisation et algèbre linéaire

*Contact* : Marcel Mongeau, mongeau@cict.fr

**Andrew R. Conn**, IBM Watson Research Center (NY), USA

Avril 2008 - *Spécialité* : Optimisation numérique

*Contact* : Marcel Mongeau, mongeau@cict.fr

ENSEEIH, IRIT, Toulouse

**J. A. Julian Hall**, School of Mathematics, University of Edinburgh, UK

Avril 2008 - *Spécialité* : Optimisation, analyse numérique

*Contact* : Michel Daydé, Patrick Amestoy,

dayde@enseeiht.fr, Patrick.Amestoy@irit.fr

Université François Rabelais, Tours, Laboratoire de Mathématiques et  
Physique Théorique

**Aris Daniilidis**, Universitat Autònoma de Barcelona (Espagne)  
15 janvier au 15 mai 2008 - *Spécialité* : Analyse variationnelle, optimisation  
*Contact* : Olivier Ley, ley@lmpt.univ-tours.fr

**Mokhtar Hassaine** Universidad de Talca (Chili)  
15 janvier au 15 mai 2008 - *Spécialité* : Physique mathématique  
*Contact* : Olivier Ley, ley@lmpt.univ-tours.fr

**PRIX ET RÉCOMPENSES**

**Prix EURYI 2007 : Sylvia Serfaty parmi les lauréats**

Les noms des 20 lauréats du prix **European Young Investigator (Euryi) 2007** viennent d’être révélés. Destinée à de jeunes chercheurs, parmi les plus talentueux, souhaitant intégrer un laboratoire de recherche européen, cette récompense vise à attirer en Europe des scientifiques prometteurs. Pour cette quatrième et dernière édition (1), quatre jeunes chercheurs présentés par le CNRS ont vu leurs projets sélectionnés pour leur excellence et leur originalité. Avec une enveloppe de 1 à 1,25 million d’euros sur 5 ans, libre à ces lauréats de constituer leur propre équipe de recherche, dans un laboratoire CNRS. Preuve de l’attractivité du CNRS pour les meilleurs jeunes talents expatriés, ce résultat témoigne de la vitalité et de l’excellence de la recherche française.

**Reconnaître et promouvoir l’excellence de la recherche européenne** dans toutes les disciplines, et par la même, recruter, retenir ou rapatrier de jeunes scientifiques, tels sont les principaux objectifs du prix Euryi. Créé en octobre 2002 à l’initiative des responsables d’organismes de recherche européens (**Eurohorcs**) et coordonné par la Fondation européenne de la science (**European Science Foundation**), ce prix, financé collectivement par 17 organismes de recherche émanant de 15 pays, vise tout particulièrement à attirer les meilleurs jeunes chercheurs du monde entier en Europe. Il a financé chaque année les projets de 20 à 25 lauréats, à hauteur de 1,25 million d’euros maximum par lauréat sur 5 ans. Un montant approchant celui remis aux Prix Nobel Et surtout, de quoi, pour ces leaders de demain, former leur propre équipe au sein d’un organisme de recherche européen. Sans restriction de nationalité, les candidats, qu’ils soient statutaires ou post-doctorants, sont sélectionnés dans un premier temps au niveau national par les

## VIE DE LA COMMUNAUTÉ

organismes de recherche, puis, au niveau européen, par des panels de scientifiques internationaux de renom. Choisis pour leurs qualités scientifiques, leur potentialité de leader, l'excellence de leur projet ainsi que celle du laboratoire d'accueil, ces jeunes talents devront se consacrer à plein temps à leur projet.

**Fort de 4 lauréats cette année, le CNRS** -qui a présenté 8 candidats sur un total de 132 pour l'ensemble des 15 pays- ne peut qu'être satisfait de ce résultat, preuve de l'excellence scientifique de l'organisme qui compte désormais 11 chercheurs récompensés depuis le lancement du prix Euryi. Ces lauréats n'auraient eu aucune difficulté à intégrer les plus prestigieuses universités américaines. C'est tout particulièrement le cas pour trois des quatre lauréats du CNRS qui travaillaient aux Etats-Unis jusqu'à présent. En les aidant à s'implanter dans un laboratoire du CNRS, le prix Euryi a été déterminant dans leur choix de revenir en Europe.

Parmi les lauréats, la communauté des mathématiques est représentée par **Sylvia Serfaty**. **Sylvia Serfaty** est chargée de recherche au CNRS, détachée depuis 2001 à l'**Institut Courant de Sciences mathématiques (Université de New-York)**. Elle travaille en tant que professeur titulaire dans ce lieu dédié à la recherche et à l'enseignement avancés en mathématiques et informatique, particulièrement réputé dans le domaine des équations aux dérivées partielles et leurs applications. Un domaine dont Sylvia Serfaty a fait sa spécialité. Son projet de recherche porte tout naturellement sur l'étude mathématique de certaines équations aux applications en physique, mécanique et contrôle optimal. Pour le conduire, elle rejoindra le **Laboratoire Jacques-Louis-Lions (CNRS / Université Pierre et Marie Curie - Paris VI)**, dirigé par Yvon Maday. En outre, elle a obtenu en 2002 son habilitation à diriger des recherches en mathématiques.

(source : <http://www2.cnrs.fr/presse/communiquel1157.htm>)

### NÉCROLOGIE

## Gene H. Golub

par Gérard Meurant CEA/DIF

Gene Howard Golub, professeur au Computer Science Department de l'université Stanford (USA) est décédé brutalement au Stanford Hospital le 16 novembre 2007 d'une leucémie aiguë. Gene était l'une des figures les plus marquantes de l'algèbre linéaire numérique ou de ce qu'il préférait appeler le calcul matriciel (matrix computations).

GENE H. GOLUB

## VIE DE LA COMMUNAUTÉ

---

Gene était né à Chicago (Illinois), le 29 février 1932, de parents ayant émigré d’Ukraine et de Lituanie vers les Etats-Unis en 1923. Il fit ses études supérieures tout d’abord à l’université de Chicago et ensuite, de 1953 à 1959, à l’université d’Illinois à Urbana-Champaign étudiant, en particulier, la théorie des matrices et les statistiques. Il exerça un emploi à temps partiel au laboratoire de calcul et apprit à programmer un des premiers calculateurs parallèles l’ILLIAC IV. Après avoir un moment envisagé de faire sa thèse dans le domaine des statistiques, Gene devint l’élève du Professeur Taub, un mathématicien appliqué, qui l’orienta vers l’étude des polynômes de Tchebycheff pour la résolution des systèmes linéaires en partant des travaux de John von Neumann. En 1959 Taub invita Richard Varga à l’université d’Illinois et Gene découvrit que Varga travaillait sur le même sujet que lui ce qui conduisit à l’écriture d’un célèbre article en commun qui fut publié en 1961.

Après sa thèse Gene reçut une bourse qui lui permit de passer 15 mois à Cambridge au Royaume-Uni où il fit la connaissance de Jim Wilkinson qui travaillait au National Physical Laboratory qui devint l’un des plus grands experts de l’analyse des erreurs d’arrondi dans les algorithmes d’algèbre linéaire et un fréquent visiteur de Stanford. Il rencontra également Cornelius Lanczos. De retour aux Etats-Unis, Gene travailla pour différentes sociétés puis décida de se tourner vers une carrière universitaire.

En 1962, George Forsythe lui offrit un poste de professeur assistant à Stanford qui fut bientôt converti en position permanente. C’est à cette époque que Gene rencontra des étudiants de Forsythe qui devaient devenir célèbres comme Cleve Moler (président actuel du SIAM) et Beresford Parlett. Le Computer Science Department de Stanford fut fondé par Forsythe en 1966 et Gene y trouva naturellement sa place au milieu des John McCarthy, Donald Knuth et autres. Il en fut le Chairman en 1982.

Au cours de sa carrière Gene a été auteur ou co-auteur de près de 180 articles publiés dans les meilleurs journaux et de très nombreuses contributions à un nombre incalculable de conférences internationales. Il est évidemment impossible de résumer ici toutes ses contributions. Ses domaines d’activité qui sont le plus connus sont l’utilisation des décompositions QR pour la résolution des problèmes de moindres carrés, la proposition d’algorithmes directs et itératifs (avec W. Kahan) pour le calcul de la décomposition en valeurs singulières (SVD) qui fut l’un des grands amours de sa vie au point que la plaque d’immatriculation de sa dernière voiture était “Pr. SVD”.

On notera aussi l’invention de la méthode de réduction cyclique pour la résolution

---

## VIE DE LA COMMUNAUTÉ

de certains systèmes linéaires permettant la construction de solveurs de Poisson rapides. Gene a également été un propagandiste ardent pour la méthode du gradient conjugué préconditionné à travers ses articles avec P. Concus et D.P. O’Leary.

Plus récemment, il travailla sur des algorithmes permettant le calcul de formes bilinéaires  $u^T f(A)v$  où  $u$  et  $v$  sont des vecteurs,  $A$  une matrice carré et  $f$  une fonction suffisamment régulière. Ces techniques font intervenir les relations subtiles entre la théorie des moments, les quadratures de Gauss, les polynômes orthogonaux et les algorithmes de type Lanczos. Comme applications, on peut citer le calcul d’approximation de normes de l’erreur dans la résolution des systèmes linéaires, la détermination de paramètres dans la régularisation de Tikhonov ou encore la validation croisée généralisée et le calcul d’approximations du déterminant de grandes matrices creuses.

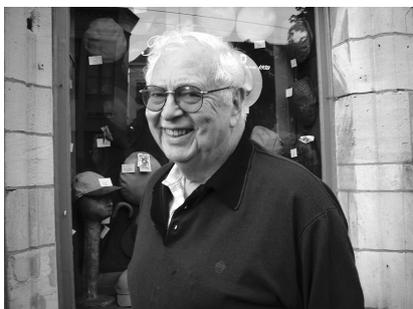
Gene est également l’auteur de plusieurs livres importants dont le très connu *Matrix Computations* [1], écrit en collaboration avec Charles Van Loan. Ce livre peut être considéré comme la bible du calcul matriciel moderne. Trois éditions ont déjà été publiées depuis 1983 et une quatrième était en préparation. Plus de 50 000 exemplaires de ce livre ont été vendus et si l’on tape “Matrix Computations” dans, par exemple, Google Scholar, on obtient plus de 17 000 citations. La référence [2] contient la reproduction de quelques articles de Gene, choisis par lui-même et commentés par certains de ses collègues ou collaborateurs ainsi qu’une biographie détaillée.

Gene était également très concerné par la vie de la communauté des mathématiques appliquées. Il a été président du SIAM et a fondé deux des journaux de cette société, le *SIAM Journal on Scientific Computing* (SISC) et le *SIAM Journal on Matrix Analysis and Application* (SIMAX).

Il a été une force motrice dans la formation de l’International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM) et a participé activement à l’organisation de la première conférence à Paris en 1987.

Il a aussi été un élément déterminant dans l’organisation des premières conférences sur les méthodes de décomposition de domaine. Il était le récipiendaire de plus de dix diplômes honoraires d’universités étrangères.

## VIE DE LA COMMUNAUTÉ



Gene Golub

Gene était un voyageur infatigable, parcourant le monde pour participer aux nombreuses conférences où il était invité et entretenir de nombreuses collaborations qu’il développait également à l’aide de son autre péché mignon, le courrier électronique, dont il fut l’un des pionniers et qui lui prenait une grande partie de son temps.

En plus d’être un chercheur de grande envergure, Gene était aussi un homme remarquable. Il donnait, lors de rencontres ou de conférences, autant de son temps et d’importance au plus modeste des étudiants qu’aux plus grands professeurs. Il a eu beaucoup d’influence sur le développement de la vie et de la carrière de nombreux membres de la communauté de l’algèbre linéaire numérique. C’était un grand scientifique et un ami fidèle. Il nous manque déjà beaucoup. Des réunions commémoratives auront lieu un peu partout de par le monde pour honorer sa mémoire le 29 février 2008 qui aurait été son “19ème” anniversaire, voir [www.cs.nyu.edu/overton/genearoundtheworld/](http://www.cs.nyu.edu/overton/genearoundtheworld/)

[1] Gene H. Golub and Charles F. Van Loan, *Matrix computations*, 3ème édition, The Johns Hopkins University Press, 1996.

[2] *Milestones in matrix computations, the selected works of Gene H. Golub with commentaries*, R.H. Chan, C. Greif et D.P. O’Leary eds, Oxford University Press, 2007.

### *Mathématiques & Applications*

Collection de la SMAI éditée par Springer-Verlag

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

- Vol. 31 E. Rio, *Théorie asymptotique des processus aléatoires faiblement dépendants*, 2000, 170 pp., 34,95 €- tarif SMAI : 27,96 €
- Vol. 32 P. Cazes, J. Moreau, P.A. Doudin, *L'analyse des correspondances et les techniques connexes*, 2000, 265 pp., 47,95 €- tarif SMAI : 38,36 €
- Vol. 33 B. Chalmond, *Éléments de modélisation pour l'analyse d'images*, 2000, 331 pp., 63,95 €- tarif SMAI : 51,16 €
- 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. Françoise, *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 Schrödinger 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., 78,95€- tarif SMAI : 63,16€
- Vol 57 J. F. Delmas, B. Jourdain, *Modèles aléatoires. Applications aux sciences de l'ingénieur et du vivant*, 2006, 433 p., 83,95 €- tarif SMAI : 67,16 €
- Vol 58 G. Allaire, *Conception optimale de structures*, 2006 - 2007, 280 p., 57,95 €- tarif SMAI : 46,36 €
- 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 : 46,40 €
- Vol 61 H. Pham, *Optimisation et contrôle stochastique appliqués à la finance*, 2007, 188 p., 35 €- tarif SMAI : 28 €

*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).

## Du côté des industriels

par Christian Gout

### Les écoles CEA-EDF-INRIA

par Jean-Frédéric Gerbeau

Les écoles CEA-EDF-INRIA accompagnent depuis une quarantaine d’années le développement du calcul scientifique et de l’informatique en France. L’objet de ce petit article est de rappeler leur mode de fonctionnement et d’annoncer les sujets des prochaines écoles.

## 1 Rappels du fonctionnement des écoles CEA-EDF-INRIA

Il existe *deux* cycles d’écoles CEA-EDF-INRIA.

Celles qu’on appelle “écoles d’été CEA-EDF-INRIA” sont organisées une fois par an, fin juin ou début juillet. Elles ont été créées dans les années 1960 par le CEA et EDF. L’INRIA s’est joint aux fondateurs quelques années plus tard. Leur objectif est de contribuer à la formation et l’approfondissement des connaissances sur des sujets assez larges d’analyse numérique et d’informatique. Elles durent généralement deux semaines et sont résidentielles (participants et enseignants sont logés sur place). Elles ont eu lieu pendant longtemps au Centre d’études du Bréau, Ablis. Depuis quelques années, elles se déroulent pr ès de Saint-Rémy-ls-Chevreuse, dans un centre de séminaires. Une journée type se compose de cours magistraux le matin, de travaux pratiques – souvent sur ordinateurs – l’après-midi, et éventuellement d’un séminaire le soir.

Celles qu’on appelle simplement “écoles CEA-EDF-INRIA” sont organisées au fil de l’eau, au rythme de 2 ou 3 écoles par an. Elles existent sous leur forme actuelle depuis le début des années 1980. Elles durent de 3 à 5 jours et ont lieu généralement au Centre de Recherche INRIA de Paris-Rocquencourt. Leur objectif est de présenter, de manière pédagogique, l’état de l’art d’un sujet spécifique. L’emploi du temps se partage le plus souvent entre mini-cours et séminaires.

Ces écoles s’adressent à *l’ensemble* de la communauté : chercheurs, ingénieurs et doctorants, de l’université, des instituts de recherche ou des entreprises. Il faut

noter que depuis 2007, un effort financier particulier été fait pour permettre à davantage de doctorants d’assister aux écoles.

Le programme scientifique des deux cycles d’écoles est discuté par un comité directeur réunissant des représentants du CEA, d’EDF et de l’INRIA. Mais les *organisateur*s ne sont pas nécessairement affiliés à une des trois institutions.

Les personnes souhaitant organiser une école peuvent prendre contact avec un des membres du comité directeur :

- Didier Besnard, CEA (didier.besnard@cea.fr)
- Christian Chauillac, CEA (christian.chauillac@cea.fr)
- Bruno Scheurer, CEA (bruno.scheurer@cea.fr)
- Eric Lorentz, EDF (eric.lorentz@edf.fr)
- Luc Bouganim, INRIA (luc.bouganim@inria.fr)
- Jean-Frédéric Gerbeau, INRIA (jean-frederic.gerbeau@inria.fr)

## 2 Les écoles 2008

### 2.1 Ecole d’été : réduction de modèles et bases réduites

Les techniques de réduction de modèles ont beaucoup progressé ces dernières années. Elles permettent d’effectuer des simulations fiables et extrêmement efficaces. Quelle que soit la méthode de réduction (bases réduites, POD, Karhunen-Loève, *etc.*), quelle que soit la méthode de discrétisation (éléments finis, différences finis, *etc.*), l’idée de base est de tirer profit de calculs déjà effectués (« off-line ») afin d’accélérer très significativement de nouvelles simulations (la réduction du temps CPU pouvant atteindre plusieurs ordres de grandeurs).

Cette école fera le point sur les principales méthodes de réduction, présentera leur mise en oeuvre sur des problèmes standards (équation de la chaleur, équations de Navier-Stokes, *etc.*), ainsi que des applications en optimisation et contrôle. Elle s’organisera autour de 3 grands cours, illustrés de nombreux travaux pratiques sur ordinateur :

- **Méthode des bases réduites** : environ 16 heures de cours par **Yvon Maday** (Univ. Paris 6) et **Tony Patera** (MIT, USA) et 14 heures de TP.
- **Proper Orthogonal Decomposition (POD) et applications en optimisation et contrôle** environ 8 heures de cours donnés par **Stefan Volkwein** (Univ. Graz, Autriche) et 7 heures de TP.
- **Meta-modèles et sparse grids** environ 8 heures de cours par **Mohamed Masmoudi** (Univ. Toulouse 3) et 7 heures de TP.

L’école aura lieu du **23 juin au 4 juillet 2008** au centre de Séminaires de Port-Royal Saint-Lambert-des-Bois (Yvelines).

## 2.2 Modélisation du cancer

Cette école, intitulée *Models of cancer and its therapeutic control : From molecules to the organism* est organisée par **Jean Clairambault** et **Dirk Drasdo** (INRIA).

Des méthodes mathématiques sont actuellement utilisées pour représenter les bases physiologiques de la prolifération cellulaire et de son contrôle, normal ou perturbé, au niveau unicellulaire ou d’une population de cellules.

Les points de vue qui seront présents dans cette école vont de la représentation de la prolifération cellulaire normale et pathologique par des modèles physiologiques (base moléculaire ou mécanistique) et phénoménologiques (descriptifs) la dynamique évolutionnaire du cancer. Les problèmes rencontrés par les oncologues lorsqu’ils tentent d’améliorer les méthodes thérapeutiques seront également abordés.

L’école aura lieu du **11 au 14 mars 2008** au Centre de Recherche INRIA Paris-Rocquencourt.

## 2.3 Fusion thermonucléaire contrôlée

Cette école intitulée *Modèles numériques pour la fusion contrôlée* est organisée par **Jacques Blum** (université de Nice Sophia Antipolis) et **Hervé Guillard** (INRIA).

Les conférenciers principaux seront Jacques Blum (Université de Nice Sophia-Antipolis), Jukka Heikkinen (Euratom-Tekes, Finland), Yanick Sarazin (Euratom-CEA), Eric Sonnendrücker (Université Louis Pasteur de Strasbourg).

L’école aura lieu du **8 au 12 septembre 2008** au château de Valrose à l’université de Nice Sophia Antipolis.

## 2.4 Equation d’Hamilton-Jacobi et lois de conservation

Cette école intitulée *Méthodes numériques pour les équations d’Hamilton-Jacobi et les lois de conservations hyperboliques* est organisée par **Régis Monneau** (ENPC) et **Hasnaa Zidani** (Ensta - Inria Futurs).

Au moment de la rédaction de cet article, les conférenciers principaux suivants ont confirmé leur participation : R. Abgrall, (U. Bordeaux I et Institut Universitaire de France), A. Ern (ENPC), R. Eymard (ENPC), M. Falcone (La Sapienza, Rome 1), C-W. Shu (Brown University), B. Desprès (CEA).

Rappelons pour finir que la SMAI apporte son concours la promotion de ces écoles. On trouvera davantage de renseignements sur le site suivant (qui regroupe à présent les 2 cycles d’écoles) :

<http://www.inria.fr/ecoles-cea-edf-inria>

## Les Journées MATHIAS du groupe TOTAL

par Peppino Terpollili

Le groupe Mathias a été constitué à la fusion des groupes Elf Aquitaine et Total-Fina en 2000. Il rassemble près d'une vingtaine de personnes impliquées dans des activités de recherche incluant les mathématiques, les statistiques et l'informatique avancée. Ce groupe est transverse aux 3 branches opérationnelles : l'Amont (l'exploration-production et le Gaz-Energies-nouvelles), l'Aval (raffinage, marketing et trading-shipping) et la Chimie (de base et spécialités).

Chaque année à l'automne le groupe Mathias organise des journées de présentation d'activités et de rencontre. Cette initiative est l'héritière des journées thésards organisées à Elf Aquitaine depuis le milieu des années 80. L'objectif principal est de réunir les différents acteurs de la recherche dans les domaines d'intérêt du groupe Mathias : les thésards et post-docs, les chercheurs académiques, les laboratoires avec qui Total collabore et les ingénieurs de Total.

L'édition 2007 s'est déroulée les 18 et 19 Octobre 2007 à Cannes. Elle aura vu la participation de près de 40 personnes et la présence de laboratoires français comme :

- le Laboratoire de Mathématiques Appliquées et la cellule Chloé de l'Université de Pau, le projet Magique 3D de l'INRIA à Pau,
- le laboratoire d'automatique de l'école des Mines de Paris, l'école des Mines d'Alès,
- l'école de Génie chimique ainsi que l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse,
- l'université de Savoie.

Plusieurs institutions étrangères étaient aussi représentées : l'université Tsinghu de Pékin, l'école polytechnique de Montréal, l'université de Houston et le laboratoire de Chemical Technology de l'université de Gand.

Les orateurs invités étaient le Professeur Roland Glowinski (U of Houston) le Professeur DingHui Yang (U of Tsinghu) et le Professeur Geraldine Henderyckx (U of Gent). Sont aussi intervenus le Professeur Louis Fradette de l'école polytechnique de Montréal et Eric Climent professeur associé au laboratoire de Génie Chimique de Toulouse et Pierre Rouchon de l'école des Mines de Paris.

Les sujets abordés lors des présentations sont bien sûr reliés aux grands enjeux

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

---

des activités que mène la société Total : - pour l’amont, ce sont par exemple les évolutions de la sismique pour mener l’exploration dans des contextes de tectoniques complexes ou encore améliorer les outils permettant de simuler l’écoulement des huiles lourdes, - pour le raffinage et la chimie, on retrouve le besoin d’améliorer nos opérations de mélanges, de séparations ainsi que de maîtriser et contrôler plus efficacement les productions.

Ces enjeux techniques s’inscrivent dans un contexte général où la préservation de l’environnement et les défis du renouvellement des réserves d’hydrocarbure conduisent à de nouvelles règles pour l’émission des gaz à effet de serre, à l’étude de procédés pour capturer et enfouir ces mêmes gaz, à rendre possible l’exploitation nécessaire des huiles lourdes du Canada en respectant les contraintes environnementales, ou encore à améliorer l’efficacité énergétique de nos unités.

Dans la suite nous donnons quelques exemples de travaux de recherche générés par ces enjeux présentés lors des journées Mathias .

En lien avec ces enjeux, l’édition 2007 avait un thème directeur : la mécanique des fluides appliquées aux problématiques de l’énergie. Les exposés suivants illustrent les travaux dans ce domaine. Au niveau de l’amont ce thème était abordé tout d’abord pour la compréhension des mécanismes de production envisagés pour exploiter les huiles lourdes. Cela conduit à étudier l’influence de la température pour la récupération d’huiles lourdes ou encore des écoulements en milieu poreux avec des fronts raides. Ces études sont cruciales pour établir les modèles physiques à utiliser dans les programmes de simulations d’écoulements. Elles sont réalisées au sein de la cellule UMR Chloé à l’Université de Pau.

En ce qui concerne les ressources plus conventionnelles, les possibilités offertes par la fibre optique pour la mesure de la température et de la pression en continu le long des zones de productions d’un puits, génère le besoin d’outils logiciels pour interpréter ces mesures.

Un tel outil a été développé dans le cadre d’une thèse au LMA de l’université de Pau. Cet outil couple la simulation dans le gisement (Loi de Darcy) et dans le puits (Navier). Une des difficultés est d’atteindre la précision du capteur (fraction de degré Celsius). L’enjeu final est de prouver la faisabilité de l’interprétation des mesures de températures, ce qui est conduit dans le cadre d’une collaboration avec un éditeur de logiciel. Ce travail réalisé pour des écoulements monophasiques se continue pour traiter les écoulements multiphasiques en milieu poreux.

---

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

Une autre recherche en cours à Stanford, avec un post-doctorant, est consacrée à l'étude du problème inverse pour les écoulements en milieux poreux, avec l'implémentation de l'état adjoint dans un simulateur black-oil universitaire. La problématique est difficile même si elle a donné lieu à de nombreux travaux depuis ceux de Chavent et de ses collaborateurs. Les outils commerciaux sont peu ouverts et ne répondent que très partiellement aux besoins de l'ingénieur gisement.

Les autres exposés de mécanique des fluides s'intéressaient aux écoulements libres (non-darcéen). Le raffinage et le génie chimique avec les opérations de mélanges et de séparation sont confrontés à des situations complexes rendant nécessaire la compréhension d'écoulements multiphasiques, dans lesquels une des phases (particules solides, bulles ou gouttelettes) est fréquemment dispersée dans une phase continue. Les exposés de Roland Glowinski et d'Eric Climent abordaient une telle problématique, dans un contexte théorique pour le premier, un contexte plus applicatif génie chimique pour le second. De même Louis Fradette a très bien illustré l'usage de la CFD pour résoudre des problèmes complexes de production de polymères. L'exposé de Géraldine Heynderickx traitait d'écoulements multiphasiques incluant des réactions chimiques et avait pour but d'obtenir des temps de calcul raisonnables afin que le code développé soit opérationnel.

Nous allons maintenant décrire les thèmes abordés dans les autres exposés.

La sismique est la technique la plus utilisée pour résoudre les questions d'exploration. Une caractéristique essentielle de la sismique est le volume des données traitées : quelques téraoctets aujourd'hui mais très prochainement quelques ordres de grandeur supplémentaires. Bien sûr cela correspond à une grande redondance des données qui rend d'ailleurs possible la tomographie du sous-sol alors que l'acquisition se fait d'un seul côté de l'objet à imager.

La technique standard de traitement, la migration, remet dans leur bonne position en espace les horizons temps enregistrés. Elle correspond à une inversion linéarisée, le modèle direct étant un modèle de simulation de propagation d'ondes : on va de l'approximation de l'optique géométrique à l'approximation de Kirchhoff dans les outils standards actuels. Un des axes de recherche actuels considère directement l'équation des ondes pour modéliser la propagation d'onde. Un premier exposé a présenté la problématique posée par la résolution de l'équation des ondes pour un tel volume de données à traiter en mettant en avant les enjeux du HPC (calcul haute performance) pour atteindre l'objectif. Deux exposés ont

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

---

présenté des travaux en cours sur des algorithmes originaux de résolution rapide de l'équation des ondes (Pr D Yang) ou de l'équation d'Helmholtz.

Après le traitement sismique, une phase d'interprétation des coupes sismiques est nécessaire. Depuis le début des années 80 Elf Aquitaine et maintenant Total a développé une station d'interprétation, Sismage, qui n'a pas de concurrent sur le marché : des techniques du traitement d'image ont été développées pour aider le géologue et le géophysicien. Deux exposés ont montré les travaux en cours pour développer le traitement d'image dans Sismage et pour la caractérisation de propriétés pétro physiques des échantillons de roches que l'on carotte dans les puits.

Un exposé, présenté par P Rouchon présentait les résultats d'une thèse soutenue à l'école des Mines de Paris concernant un réacteur chimique produisant des polymères. L'objectif est de contrôler la concentration des réactifs ce qui n'est pas directement accessible aux opérateurs. Des estimateurs non linéaires ont été construits qui respectent les symétries et les invariances du système. Ces propriétés d'invariances et de symétries permettent de trouver des changements de variables propices à l'étude de la convergence globale pour des observateurs du types Luenberger ou filtre de Kalman étendu.

Pour le raffinage, les séquences d'approvisionnement en pétrole bruts ainsi que les opérations de mélanges des produits de base pour obtenir des carburants respectant les spécifications réglementaires sont cruciales pour l'efficacité des sites de production.

Un premier exposé réalisé par un postdoc à Carnégie-Mellon, présentait l'avancée des recherches en programmation des opérations de mélanges en utilisant des techniques d'optimisation mixte avec des variables entières et continues. L'obtention de temps de calcul acceptable est un enjeu important de cette recherche. Un second exposé (Stefan Janaqi, Mines d'Alés) a présenté une approche géométrique permettant de contrôler la faisabilité d'un mélange et la robustesse de la formulation. Chaque mélange est représenté dans un espace géométrique, un polytope caractérise l'ensemble des mélanges possibles et un parallélépipède définit la cible. Les mélanges faisables sont à l'intersection de ces deux ensembles. L'objectif est de définir une mesure de robustesse permettant de caractériser la facilité à réaliser un mélange vérifiant les spécifications.

Le programme de ces journées a permis de couvrir une partie seulement de la recherche en cours relevant des sujets du groupe Mathias. Les échanges entre les

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

participants ont conduit à approfondissement des sujets et ont suggéré des pistes permettant un réel effort transverse entre les branches du groupe. Ces journées permettent aussi de renforcer les liens entre le monde académique et Total.

*Le beau soleil de Cannes a rendu plus agréables encore ces deux journées de travail intenses !*

### **1ère Journée Sensibilisation aux Mathématiques et Environnement (Limoges et La Rochelle), 24/10/07**

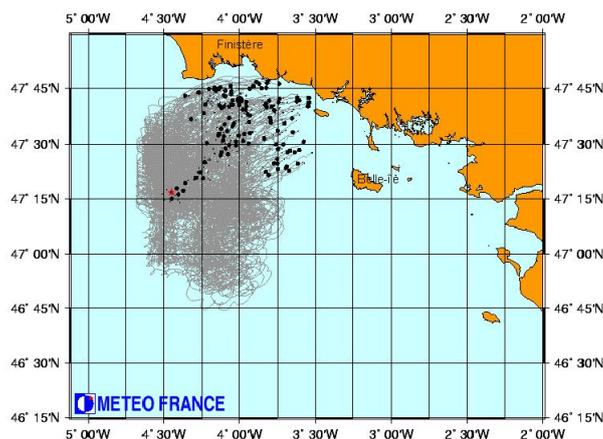
par Frédéric Muttin

#### **L’objectif**

La désaffection des études scientifiques est aujourd’hui posée. Notre but est de comprendre et de participer à remédier ce fait de société. Le challenge posé est a priori difficile et demandera un effort important et continu. L’idée de cette demi-journée a retenu l’attention de nombreux établissements d’enseignement supérieur.

#### **METEO France**

La valeur d’une entreprise est avant-tout celle de son capital humain. Les professionnels d’entreprises du domaine de l’eau et de l’environnement sont intéressés par cette action de sensibilisation. L’Office International de l’Eau (OI-EAU) était présent à cette demi-journée. La prévision de l’état de la mer est une des missions de Météo-France. Une prévision du temps à 3 jours demande au départ la connaissance de la météo sur la totalité du globe terrestre.

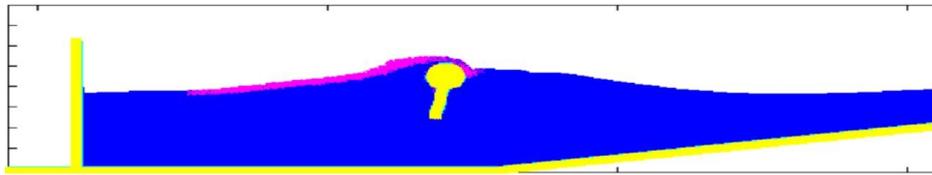


*Dérive de la nappe de l’ERIKA au large du Finistère (doc Météo-France)*

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

### EDF R et D

Les entreprises sont les futurs employeurs des lycéens et des étudiants. Il est prioritaire pour une entreprise de pouvoir recruter des personnes qualifiées de bon niveau. Cette rencontre est aussi l'occasion pour les entreprises participantes d'échanger dans le domaine de l'eau et de l'environnement, par exemple entre la météorologie marine et les centrales électriques de bord de mer. La protection des centrales électriques demande la connaissance des ondes de marées et des vagues exceptionnelles.



*Submersion d'un barrage flottant par un hydrocarbure (EDF-R et D)*

Pierre Daniel (Météo-France)

Après des études post-bac en classe "prépa" option M, Pierre Daniel est diplômé l'École Nationale de la Météorologie. Il est en ce moment ingénieur à la division "Marine et Océanographie" de Météo-France. Il est spécialisé dans le thème de la dérive d'objets flottants en mer. La partie mathématique de sa présentation porte sur un modèle d'hydrodynamique du courant à la surface des mers, qui utilise les dimensions 2D horizontale et 1D verticale suivant la profondeur de l'océan. Le modèle 2D est celui de Saint-Venant, et le modèle 1D utilise l'intégration des fonctions de Bessel. Les applications de ses recherches servent par exemple au secours d'un homme tombé à la mer, ou à repérer à rebours des containers dérivants à la côte. Après des études en "prépa", il intègre l'École Normale Supérieure de Cachan. Il y effectue un doctorat. Clément Buvat est en ce moment chercheur au laboratoire national d'hydraulique et environnement à Chatou. Sa spécialité est la simulation numérique appliquée aux ouvrages hydrauliques à terre et en mer. Il travaille en ce moment à la définition d'hydrauliques au fond des mers, et aux barrages flottants pour protéger les installations côtières des marées-noires. La partie mathématique de sa présentation utilise l'opération de convolution pour représenter une fonction continue dans les équations de la mécanique des fluides turbulents. La convolution permet de définir la vitesse et la pression d'un fluide à partir de particules lagrangiennes placées en grand nombre. Les applications des ses recherches sont par exemple le confinement d'un hydrocarbure flottant au voisinage des côtes, ou la prédiction du niveau exceptionnel de la mer pendant une tempête.

---

## DU CÔTÉS DES INDUSTRIELS

### **Le constat**

Le petit nombre de personnes présentes à cette demi-journée (étudiants, professeurs, professionnels) a à l'esprit que la science de demain se prépare aujourd'hui. Un faible nombre d'acteurs scientifiques dans le monde de demain est le risque le plus vraisemblable.

### **Conclusion**

La faible participation à cette demi-journée d'étudiants et de lycéens peut être vue comme "normale" étant donné le niveau de désaffection des études scientifiques. Cela nous encourage à renouveler cette action en 2008. Nous diffuserons sur internet ce résumé pour essayer de toucher plus de monde, et en particulier les professeurs de lycée de d'Université.

### **Les organisateurs**

L'Université de Limoges et son laboratoire X-Lim mène de nombreux travaux dans le domaine de la modélisation et de l'optimisation des systèmes. L'École d'ingénieurs de La Rochelle mène des travaux de recherche dans les domaines des transports, de l'énergie, et des pollutions.

### **Organisation :**

Michel Théra, Frédéric Muttin avec l'IREM Limoges et le soutien du conseil régional du Limousin

## Comptes Rendus de Manifestations : Salon de l'Éducation

par Brigitte LUCQUIN

Nos quatre associations de mathématiques (SMAI, SMF, SFDS et Femmes et Mathématiques) ont été accueillies sur le stand “sciences” de l'Onisep, lors du dernier **salon de l'éducation** qui s'est tenu du **22 au 25 novembre 2007**, Porte de Versailles à Paris.

**La fréquentation :** Traditionnellement, le jeudi et le vendredi sont consacrés à l'accueil de groupes scolaires, les familles se déplaçant plutôt le week-end. Le jeudi a démarré très calmement, en grande partie à cause des grèves de transport. La situation dans les transports s'étant nettement améliorée le lendemain, un flux régulier de visiteurs est passé, mais sans qu'il y ait vraiment affluence. Le samedi et le dimanche, en revanche, il y a eu foule jusqu'à l'annonce de la fermeture des portes (parfois 10 personnes en train d'attendre).

**Les questions :** Pas beaucoup de questions sur le “Zoom” proprement dit, mais beaucoup de questions sur les débouchés en mathématiques appliquées. De nombreux élèves de terminale S mais aussi de première, de seconde, voire de troisième, avec (ou sans) les parents.

Egalement des visites et questions de responsables de cellules d'orientation de lycées (auxquels on donnait un peu plus de brochures), d'un principal de collège en ZEP, non mathématicien, en quête d'informations pour éveiller l'intérêt de ses élèves de 3<sup>ème</sup> ...

Egalement quelques représentants du système éducatif de Côte d'Ivoire et du Sénégal qui sont venus spécialement à la recherche d'informations.

Plusieurs fois, les jeunes, niveau collège ou seconde, sont revenus sur “*les maths à quoi cela sert ?*” ou “*qu'est ce qu'on peut faire comme métier en maths ?*”

Plus généralement, des questions très variées sur les études poste bac : *que faire avec le bac S ? Une CPGE, une université ou classe prépa intégrée ? Nous avons eu aussi : que faire après un BTS ?*

Nous étions en effet sous la bannière “Sciences” de l'Onisep (accrochée au plafond, donc bien visible de loin), ce qui nous a valu des questions très variées : en informatique tout d'abord (mais là, nous pouvions les orienter vers des collègues

## COMPTE-RENDUS DE MANIFESTATIONS

---

informaticiens avec qui nous partagions le stand "sciences"), mais aussi en biologie, chimie, génétique...

Beaucoup de demandes par exemple sur "*comment devient-on concepteur de jeux vidéo ?*". Bien qu'ayant à notre disposition des documentations de l'Onisep, nous n'étions pas toujours capables de répondre à toutes les attentes...

**En résumé, si nous devons faire un "bilan" de ces 4 journées :**

### LES PLUS :

- bonne organisation et bon support Onisep pendant le salon,
- bonne coordination entre les 4 associations et nous avons eu toute une présence constante,
- beaucoup d'affluence le week-end.

### LES POINTS A AMELIORER :

- avoir eu plus de brochures "Zoom sur les métiers des mathématiques" à distribuer (il y a eu un problème de paquet égaré qui n'a été retrouvé que le dimanche midi),
- avoir plus de connaissance des brochures Onisep à disposition,
- avoir un voisinage moins bruyant,
- réfléchir collectivement en amont aux questions récurrentes des jeunes et bien sûr aux réponses à leur apporter (sur l'orientation, les études post-bac, prépa ou pas...),
- enfin, nous étions sur le stand "sciences" et il y avait uniquement des représentants maths-stats et informatiques, donc les autres sciences et métiers (comme biologie-biochimie...) n'étaient pas représentés. Nous avons de fait aidé à renseigner, mais cela aurait été bien de le savoir à l'avance ... Ou alors, il aurait fallu modifier l'intitulé du stand.

Quant à l'Onisep, elle semble plutôt satisfaite de notre présence, puisque nous avons déjà une invitation (orale) pour l'année prochaine !

Avis aux amateurs : ce serait bien d'avoir plus de deux personnes en permanence le week-end en particulier.

Enfin pour terminer, quelques photos de la manifestation.

## COMPTE-RENDUS DE MANIFESTATIONS



Et encore un très grand merci à toutes les personnes présentes sur le stand : Annick Boisseau, Jean-Marc Bonnissieu, Véronique Chauveau, Stéphane Jaffard, Séverine Leidwanger, Dominique Moccatti, Nelly Hanoune, Michel Paugam, Jean-Louis Piednoir, Françoise Tondu et Gérard Tronel.

Merci enfin à Antoine Le Hyaric pour son film d'animations du laboratoire J.-L. Lions et à Claire Ropartz pour celui SMF/CIJM, films (en boucle) que nous avons utilisées constamment.

## 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 ».

## Le projet PLUME

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

Le projet PLUME<sup>2</sup> vise à Promouvoir les Logiciels Utiles, Maîtrisés et Economiques dans la communauté de l’enseignement supérieur et de la recherche. L’objectif technique est de créer une plate-forme informatique qui sélectionne, rassemble et analyse l’offre disponible en matière de logiciels libres et mutualise ainsi les compétences essaimées au sein des laboratoires.

De très nombreux logiciels performants et stables sont disponibles actuellement. Ils sont peu coûteux, pour la plupart libres et gratuits, parfois partagés... PLUME les appelle logiciels économiques (le E de PLUME). Ils couvrent maintenant tout le spectre des applicatifs et sont parfois beaucoup plus innovants que les produits propriétaires.

La communauté enseignement supérieur et recherche était jusqu’à très récemment pionnière dans la pratique de ces logiciels libres, ainsi que dans la contribution à leurs développements. Mais actuellement, elle perd toute cette avance.

Les grosses entreprises ou certaines administrations ont déjà créé un service pour sélectionner et diffuser les logiciels libres intéressants en interne : notre communauté n’a pas encore entrepris ce travail.

En revanche nous avons un atout extrêmement important. Dans notre communauté, de très nombreux personnels connaissent bien certains de ces produits, les utilisent régulièrement, en sont parfois des spécialistes. Cette expertise cumulée, dans des domaines très variés, est certainement globalement beaucoup plus riche que dans les grandes entreprises privées ou d’autres administrations mais ces compétences distribuées ne bénéficient pas encore aux autres.

### Le projet PLUME

A l’heure où on demande avec insistance à l’enseignement supérieur et à la recherche d’être performants et d’avoir une bonne gestion, il faut rectifier cette situation. PLUME amène une réponse en proposant d’agir suivant deux axes : technique et stratégique.

Le projet technique consiste à mutualiser les compétences de terrain pour monter un serveur d’information et une organisation pour l’alimenter.

Le projet stratégique veut mettre en place un comité de concertation inter-organismes de l’enseignement supérieur et de la recherche. Son objectif sera de promouvoir officiellement ces logiciels économiques, de lancer des préconisations et des actions majeures de manière concertée (comme une migration à la suite bureautique OPENOFFICE.ORG, mais aussi des recommandations pour l’utilisation

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

<sup>2</sup><http://www.projet-plume.org/>

## LE PROJET PLUME

---

de logiciel comme SCILAB ou SAGE par exemple) et de regrouper les différentes initiatives dans ce sens.

Les deux axes sont indissociables et pourront progresser parallèlement. L'un bénéficiera de l'expertise de l'autre, l'autre pourra être piloté et soutenu par le premier. Par les actions concrètes décrites ci-après, le projet se veut aussi un catalyseur et un point de référence regroupant les informations sur les différentes initiatives dans le domaine du logiciel.

Même si le serveur est public, la cible est précise : les personnels (ingénieurs, chercheurs, enseignants, ...) ayant des besoins particuliers en terme d'outils informatiques. Ce n'est donc pas un service grand public comme il en existe. Il a aussi d'autres spécificités.

La première est de répondre aux besoins de l'enseignement supérieur et de la recherche. Les produits décrits doivent être à but professionnel (on retrouve l'objectif de logiciels utiles). Les logiciels sont classés par fonction informatique (bureautique, services Internet, logiciels de gestion...) mais également par métier (calcul formel, bio-informatique, chimie, électronique, statistiques, calcul numérique, ...). Un visiteur de la recherche ou de l'enseignement supérieur pourra ainsi retrouver très rapidement les logiciels qui peuvent intéresser son activité professionnelle. C'est une approche métier.

Deuxièmement, PLUME ne référence que ce qui est utilisé dans la communauté, ce qui est une preuve de l'utilité et de la qualité. Le but n'est pas de faire un catalogue exhaustif des logiciels libres qui existent mais d'indiquer des logiciels de qualité et UME dans le contexte de l'enseignement supérieur et de recherche.

Le troisième point est de faire connaître les développements internes. En effet, de nombreux développements « libres » ont été faits par des chercheurs, des enseignants ou des ingénieurs sans que cela soit visible comme une production du laboratoire ou de l'université. Sans empiéter sur les services de valorisation, PLUME référence « de préférence » ces produits mais avec les mêmes critères UME. Il faut que le logiciel soit déjà diffusé (sur un Web, dans Sourceforge ou...) ce qui veut dire que le développement est abouti et possède une documentation... L'autre contrainte est qu'il soit utilisé par au moins deux autres sites (que le site du concepteur) en production, preuve de l'utilité à d'autres.

Les économies en dépenses logicielles sont le premier gain. Il est évident que passer de solutions commerciales payantes à des solutions gratuites ou presque entraînera des économies à tous les niveaux : national, université, laboratoire. Le second gain est la rationalisation du travail des informaticiens, des développeurs et des chercheurs, chacun pouvant accéder très rapidement à des logiciels classifiés, avec toutes les informations de base. L'utilité d'un comité stratégique est évidente : il permettra d'avoir des actions concertées et cohérentes entre personnes qui travaillent de la même manière et dans un premier temps d'être un

lieu d'échanges sur ce sujet, lieu qui n'existe pas.

### **Les projets connexes**

La création de rubriques thématiques, métiers ... amène les contributeurs et spécialistes en logiciel à se regrouper en réseaux par grands domaines d'intérêt. Ceux-ci offrent l'opportunité d'un travail coopératif d'où peut émerger des projets.

En termes de formation à destination des chercheurs et ingénieurs développeurs dans les laboratoires, une action avec les départements MPPU et ST2I du CNRS et l'INRIA appelée ENVOL[4] : Ecole pour le développemeNt et la ValOrisation des Logiciels en environnement de recherche a été proposée pour 2008. Le constat est que faute de méthode, les développements souvent très inventifs des laboratoires ont beaucoup de mal à passer de l'utilisation locale à une diffusion vers l'extérieur car le travail de remise en forme est beaucoup trop lourd. L'école présentera des méthodes et outils de développement adaptés aux laboratoires de recherche et les différents modèles de valorisation (en particulier logiciels libres). Ce projet est connexe à une autre démarche, réalisée en collaboration avec le GROUPE CALCUL[1] et le projet CIEL[2], visant à référencer et valoriser les développements internes : le projet RELIER[3] (REférencer les développements Logiciels Internes de l'Enseignement supérieur et de la Recherche). Ce projet, dont la phase de démarrage est prévu pour 2008, a pour objet de référencer les développements très pointus scientifiquement ou dans un état insuffisamment avancé pour être référencer dans Plume. En effet, les codes réalisés dans le cadre de laboratoires de recherches ont des niveaux de "professionalisme" informatique très divers. Les objectifs de RELIER sont essentiellement de :

- Les valoriser : c'est une demande des laboratoires de pouvoir valoriser la production scientifique issue des logiciels développés en son sein. Cela peut être effectué au niveau de chaque laboratoire, mais l'audience sera minime par rapport à un référencement dans un serveur national.
- Les faire connaître : ils peuvent intéresser d'autres chercheurs ou enseignants (qui pourront y piocher des idées, contacter les développeurs, ne pas refaire les mêmes développements) mais aussi des entreprises technologiques de pointe. PLUME veut être un catalyseur dans le domaine du logiciel. Il ne veut pas tout faire mais peut facilement regrouper des compétences pour qu'elles travaillent ensemble.

### **Le cas particulier de la thématique Maths**

Les logiciels sont classés sur le référentiel selon une approche métier. Il existe ainsi une thématique « maths » qui a pour objectif de recenser les logiciels particulièrement utilisés dans ce domaine (au sens large). Le contenu de cette thématique est en constante évolution et regroupe des outils variés, allant de FREE-FEM++ à PARI/GP, en passant par des outils de visualisation comme VISIT ou GRACE. Il est accessible par le formulaire de recherche par domaine.

L’existence d’une thématique Maths au sein d’un projet de logiciels libres a des intérêts multiples pour la recherche dans ce domaine. Pour prouver des résultats scientifiques, ou pour illustrer des résultats, il est souvent nécessaire de recourir à des calculs issus de programmes informatiques. Lorsqu’on utilise à cet effet un logiciel dont le source n’est pas disponible, il est alors tout à fait impossible de vérifier la validité des algorithmes et les lignes de codes implémentées. La rigueur scientifique exige dans ce cas de faire la preuve avec un logiciel libre. De même, lorsqu’une implémentation est développée avec un logiciel propriétaire, le risque est important de devoir faire à nouveau ce travail si ce logiciel venait à disparaître. Pour toutes ces raisons, l’importance des logiciels libres est primordiale dans la communauté des mathématiques appliquées.

D’autre part, le recensement de logiciels utilisés dans notre communauté peut faire ressortir le fait que ces mêmes outils sont aussi utilisés dans d’autres thématiques, et être ainsi à l’origine de collaborations multi-disciplinaires. Notre communauté doit aussi être partie prenante des projets connexes de formation en valorisation logiciel, ainsi que du référencement des logiciels développés en internes, et non suffisamment aboutis pour pouvoir être décrits sur le serveur PLUME. Cette thématique ne peut vivre que par le dynamisme de la communauté. Nous vous invitons donc à proposer les fiches des logiciels que vous utilisez, afin de capitaliser et partager ces connaissances. Ces propositions peuvent être faites en ligne sur le site de Plume.

### Conclusions

Le projet PLUME vient de mettre en service sa nouvelle plateforme répondant à un cahier des charges précis. Cet outil prend chaque jour un peu plus d’ampleur. Il est soutenu par un certain nombre de partenaires, organismes, université et laboratoires, avec l’objectif à moyen terme de créer un GIS (Groupement d’Intérêt Scientifique) ou l’équivalent avec ces soutiens.

Si vous souhaitez apporter votre contribution au projet, n’hésitez pas à nous contacter : [louvet@math.univ-lyon1.fr](mailto:louvet@math.univ-lyon1.fr) (responsable de la thématique « Maths »). Pour vous tenir informé des évolutions du projet, plusieurs solutions sont possibles : Fils RSS : <http://www.projet-plume.org/info-rss> ou la liste de diffusion plume-info : <http://www.services.cnrs.fr/wws/info/plume-info>

### Références

- [1] <http://calcul.math.cnrs.fr/>
- [2] <http://ciel.ccsd.cnrs.fr/>
- [3] <http://www.projet-plume.org/relier>
- [4] <http://www.projet-plume.org/envol>

## Le classement des pages du web par les moteurs de recherche

par Claude Brezinski<sup>1</sup> et Michela Redivo-Zaglia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire Paul Painlevé, UMR CNRS 8524, UFR de Mathématiques Pures et Appliquées, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 - Villeneuve d’Ascq cedex, France (Claude.Brezinski@univ-lille1.fr).

<sup>2</sup> : Dipartimento di Matematica Pura ed Applicata, Università degli Studi di Padova, Via Trieste 63, 35121 - Padova, Italy (Michela.RedivoZaglia@unipd.it).

### Résumé

Nous allons exposer les mathématiques qui, dans les moteurs de recherche, se cachent derrière le classement des pages du web selon leur ordre de pertinence décroissante. Puis nous verrons quelles sont les méthodes d’analyse numérique qui sont utilisées pour effectuer ce classement, comment en accélérer la convergence et comment des procédures d’extrapolation permettent de les améliorer.

## 1 Introduction

Quand on insère des mots-clés dans un moteur de recherche sur le web, on obtient les pages par ordre décroissant de pertinence. Ce classement n’est pas effectué pour chaque utilisateur à chacune de ses requêtes, mais le moteur procède de temps en temps à un classement général de toutes les pages du web selon leur importance. Quand des mots-clés sont introduits, le moteur recherche les pages qui correspondent à la question posée dans cette liste classée complète.

Un problème mathématique et des algorithmes numériques se cachent derrière un tel classement. Les moteurs de recherche utilisent plusieurs stratégies pour effectuer ce classement, dont certaines relèvent du secret industriel. L’importance d’une page est définie par son rang dans la liste et s’appelle son *PageRank* (nous garderons ici le vocabulaire anglo-saxon) et les pages sont classées grâce à un algorithme qui porte le même nom. Ce mode de classement et cet algorithme ont été introduits en 1998 par Larry Page et Sergey Brin [5], les fondateurs de la société Google, alors étudiants à l’Université de Stanford.

Nous avons volontairement limité ici la bibliographie car celle-ci est très vaste. On en trouvera une bonne partie dans [3, 4, 7].

## 2 Le problème

On considère qu’une page est importante si d’autres pages importantes pointent vers elle. L’importance d’une page est, par conséquent, déterminée par celle des autres pages qui pointent vers elle. Si une page web personnelle n’est référencée que dans la page principale d’un petit laboratoire cela lui donnera relativement peu d’importance. Si, par contre, on trouve un lien vers elle depuis la page de la Présidence de la République, alors elle acquerra une importance beaucoup plus grande. La définition de l’importance d’une page est donc implicite et le vecteur ligne  $\mathbf{r}^T$  de tous les PageRanks est solution d’un problème de point fixe comme nous allons le voir.

Soit  $\deg(i) \geq 0$  le degré de sortie de la page  $i$ , c’est-à-dire le nombre de pages vers lesquelles cette page pointe. Soit  $P = (p_{ij})$  la matrice de transition entre la page  $i$  et la page  $j$ , où  $p_{ij} = 1/\deg(i)$ ,  $p_{ij} = 0$  s’il n’y a pas de lien de la page  $i$  vers la page  $j$  et  $p_{ii} = 0$ .

Le vecteur PageRank  $\mathbf{r}$  vérifie  $\mathbf{r}^T = \mathbf{r}^T P$ , soit encore,  $\mathbf{r} = P^T \mathbf{r}$  et il peut être calculé récursivement par la méthode de la puissance classique

$$\mathbf{r}^{(n+1)} = P^T \mathbf{r}^{(n)}, \quad n = 0, 1, \dots,$$

en supposant que  $\mathbf{r}$  est présent dans la décomposition spectrale de  $\mathbf{r}^{(0)}$ . Mais cette procédure peut avoir des problèmes de convergence : elle peut cycler ou dépendre du vecteur de départ  $\mathbf{r}^{(0)}$ . Pour remédier à cela, le problème a été modifié.

En premier lieu, puisque certaines pages (comme certains fichiers en format pdf) n’ont pas de lien sortant (*dangling pages*),  $P$  n’est pas stochastique. Différentes stratégies existent pour contourner ce problème mais la plus utilisée consiste à remplacer cette matrice par  $\tilde{P}$  de la façon suivante. Soit  $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_p)^T \in \mathbb{R}^p$  un vecteur de probabilité, c’est-à-dire tel que  $\mathbf{w} \geq 0$  et  $\mathbf{e}^T \mathbf{w} = 1$  où  $\mathbf{e} = (1, \dots, 1)^T$ , et où  $p$  est le nombre total de pages (plus de 8 milliards dans Google). Soit  $\mathbf{d} = (d_i) \in \mathbb{R}^p$  le vecteur tel que  $d_i = 1$  si  $\deg(i) = 0$  et 0 sinon. On pose

$$\tilde{P} = P + \mathbf{d}\mathbf{w}^T.$$

L’effet de la matrice additionnelle  $\mathbf{d}\mathbf{w}^T$  est de modifier les probabilités de sorte qu’un internaute qui visite une page sans lien sortant saute à une autre page avec la probabilité définie par  $\mathbf{w}$ . La matrice  $\tilde{P}$  est stochastique, elle admet 1 comme valeur propre dominante et  $\mathbf{e}$  comme vecteur propre (droit) correspondant. Par conséquent, la matrice  $I - \tilde{P}$  est singulière.

Mais un autre problème survient car  $\tilde{P}$  est réductible ; elle peut donc avoir plusieurs valeurs propres sur le cercle unité et des problèmes de convergence s’en

MATHEMATIQUES ET MOTEURS DE RECHERCHE

suivent pour la méthode de la puissance. De plus,  $\tilde{P}$  peut avoir plusieurs vecteurs propres gauches qui correspondent à la valeur propre dominante 1. Soit  $\tilde{\mathbf{r}}$  l'un d'eux.

Finalement, on remplace  $\tilde{P}$  par

$$P_c = c\tilde{P} + (1 - c)E, \quad E = \mathbf{e}\mathbf{v}^T,$$

avec  $c \in [0, 1]$  et  $\mathbf{v}$  un vecteur de probabilité qui peut être, par exemple,  $\mathbf{e}/p$ . On ajoute ainsi à toutes les pages un ensemble de transitions de sorties avec de faibles probabilités. Cependant, la distribution de probabilité définie par  $\mathbf{v}$  peut ne pas être uniforme et le PageRank résultant peut être biaisé pour donner une préférence à certains types de pages selon les centres d'intérêts de l'utilisateur. Pour cette raison,  $\mathbf{v}^T$  s'appelle vecteur de *personnalisation*.

La matrice  $P_c$  est maintenant non-négative, stochastique et irréductible. Sur le cercle unité, sa seule valeur propre est 1 et le vecteur propre droit correspondant est  $\mathbf{e}$ . Ainsi,  $I - P_c$  est singulière. La méthode de la puissance pour la matrice  $P_c^T$  converge maintenant vers un unique vecteur  $\mathbf{r}_c$  qui dépend de  $c$  et qui est pris comme vecteur PageRank. Notons que, bien que  $P$  soit extrêmement creuse,  $P_c$  est dense. Cependant, la méthode de la puissance peut être mise en œuvre seulement à l'aide de produits de vecteurs par une matrice creuse et sans même stocker  $P_c$  (voir Section 4). On peut également obtenir  $\mathbf{r}_c$  comme solution d'un système d'équations linéaires.

On est donc finalement confronté au problème mathématique suivant. On pose  $A_c = P_c^T$ . La matrice  $A_c$ , de dimension  $p$ , a les valeurs propres  $|c\tilde{\lambda}_p| \leq \dots \leq |c\tilde{\lambda}_2| < \tilde{\lambda}_1 = 1$ , où les  $\tilde{\lambda}_i$  sont les valeurs propres de  $\tilde{P}$ . Nous voulons calculer le vecteur  $\mathbf{r}_c$  qui est son unique vecteur droit correspondant à la valeur propre  $\tilde{\lambda}_1 = 1$ . Nous utilisons pour cela la méthode de la puissance

$$\mathbf{r}_c^{(n+1)} = A_c \mathbf{r}_c^{(n)}, \quad n = 0, 1, \dots \tag{1}$$

avec  $\mathbf{r}_c^{(0)} = \mathbf{v}$ . Ces itérations convergent vers le vecteur propre droit  $\mathbf{r}_c$  de la matrice  $A_c$  correspondant à sa valeur propre dominante 1. C'est le vecteur que nous voulions calculer. Cependant, si  $c \simeq 1$ , la convergence est lente puisque qu'elle est régie par  $c^n$ . Il faut ainsi trouver un équilibre entre une valeur petite de  $c$  qui assure une convergence rapide, mais vers un vecteur  $\mathbf{r}_c$  qui peut ne pas être proche du vecteur PageRank  $\tilde{\mathbf{r}} = \lim_{c \rightarrow 1} \mathbf{r}_c$  et une valeur de  $c$  voisine de 1 qui conduit à une meilleure approximation de  $\tilde{\mathbf{r}}$ , mais avec une convergence lente. À l'origine, Google prenait  $c = 0.85$ . Il faut bien voir que, compte tenu de la dimension du problème, le calcul du vecteur PageRank peut prendre plusieurs jours. De plus, vu les changements continuels dans les pages du web, ce vecteur doit être souvent recalculé et il peut s'avérer nécessaire de le connaître pour différents

vecteurs de personnalisation. Il est donc utile, d'une part, de savoir accélérer la convergence de la méthode de la puissance et, d'autre part, de pouvoir calculer  $\mathbf{r}_c$  pour des valeurs de  $c$  proches de 1 par des méthodes d'extrapolation. C'est ce que nous verrons par la suite.

### 3 Le vecteur PageRank

D'après le théorème de Perron–Frobenius,  $\mathbf{r}_c \geq 0$ . On normalise ce vecteur de sorte que  $\mathbf{e}^T \mathbf{r}_c = 1$ ; c'est, par conséquent, un vecteur de probabilité.

Nous allons exprimer  $\mathbf{r}_c$  de différentes façons. Commençons par des expressions implicites du vecteur PageRank. Posons  $\tilde{A} = \tilde{P}^T$ . On a la

#### Propriété 1

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_c &= (1 - c)(I - c\tilde{A})^{-1}\mathbf{v} \\ &= \mathbf{v} + c(\tilde{A} - I)(I - c\tilde{A})^{-1}\mathbf{v}. \end{aligned}$$

D'après cette Propriété,  $\mathbf{r}_c$  est solution du système  $(I - c\tilde{A})\mathbf{r}_c = (1 - c)\mathbf{v}$ . En remplaçant  $\tilde{A}$  par son expression, on obtient finalement le système creux  $(I - cP^T)\mathbf{r}_c = \gamma\mathbf{v}$ , où  $\gamma = \|\mathbf{r}_c\|_1 - c\|P^T\mathbf{r}_c\|_1$ . Un choix particulier de  $\gamma$  ne conduit qu'à un changement de normalisation de la solution et il est toujours possible de le choisir de sorte que  $\mathbf{r}_c$  soit un vecteur de probabilité. Il existe différentes méthodes itératives pour calculer le vecteur PageRank comme solution de ce système linéaire.

#### Propriété 2

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_c &= (1 - c) \sum_{i=0}^{\infty} c^i \tilde{A}^i \mathbf{v} \\ &= \mathbf{v} + c(\tilde{A} - I) \sum_{i=0}^{\infty} c^i \tilde{A}^i \mathbf{v}. \end{aligned}$$

Ces séries, données dans [1], sont convergentes puisque  $\rho(\tilde{A}) = 1$  et  $0 \leq c < 1$ . Donnons maintenant des expressions explicites de  $\mathbf{r}_c$ .

#### Théorème 1

Soient  $\mathbf{e}, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$  les vecteurs propres droits de la matrice  $\tilde{P}$  et  $\mathbf{y}, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_p$  ses vecteurs propres gauches correspondants aux valeurs propres  $1, \tilde{\lambda}_2, \dots, \tilde{\lambda}_p$  avec  $1 \geq |\tilde{\lambda}_2| \geq \dots \geq |\tilde{\lambda}_p|$ .

Si  $\tilde{P}$  est diagonalisable

$$\mathbf{r}_c = \mathbf{y} + (1 - c) \sum_{i=2}^p \frac{\alpha_i}{1 - c\tilde{\lambda}_i} \mathbf{y}_i, \quad (2)$$

avec  $\alpha_i = \mathbf{v}^T \mathbf{x}_i$  et où  $\mathbf{y}$  est l'un des vecteurs PageRank (i.e. correspondant à  $c = 1$ ).  
 Dans le cas général

$$\mathbf{r}_c = \mathbf{y} + \sum_{i=2}^p w_i(c) \mathbf{y}_i \quad (3)$$

avec

$$\begin{aligned} w_2(c) &= (1 - c)\alpha_2 / (1 - c\tilde{\lambda}_2), \\ w_i(c) &= [(1 - c)\alpha_i + c\beta_i w_{i-1}(c)] / (1 - c\tilde{\lambda}_i), \quad i = 3, \dots, p, \end{aligned}$$

où  $\beta_i$  vaut 0 ou 1.

D'après ce résultat, démontré dans [8], et puisque  $\mathbf{r}_c$  est une fonction rationnelle n'ayant pas de pôle en  $c = 1$ , il existe un unique vecteur qui est la limite de  $\mathbf{r}_c$  lorsque  $c$  tend vers 1. Ce vecteur est seulement l'un des vecteurs propres dominants gauches, non-négatifs et normalisés de  $\tilde{P}$  et il est choisit comme vecteur PageRank.

On trouvera une autre expression rationnelle du PageRank dans [3].

Donnons maintenant une expression polynômiale de  $\mathbf{r}_c$ . Soit  $\Pi_m(\lambda) = a_0 + a_1\lambda + \dots + a_m\lambda^m$  le polynôme minimal de  $A_c$  pour le vecteur  $\mathbf{v}$ , avec  $m \leq p$ . Puisque  $A_c$  a une valeur propre unique égale à 1,  $\Pi_m$  peut s'écrire  $\Pi_m(\lambda) = (\lambda - 1)Q_{m-1}(\lambda)$ . Ainsi

$$\Pi_m(A_c)\mathbf{v} = (A_c - I)Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v} = A_c Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v} - Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v} = 0.$$

Nous avons donc la

### Propriété 3

$$\mathbf{r}_c = Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v}.$$

## 4 Calcul du vecteur PageRank

Comme nous l'avons vu dans la Section 2, le vecteur PageRank  $\mathbf{r}_c$  est calculé itérativement par la méthode de la puissance à partir du vecteur initial  $\mathbf{r}_c^{(0)} = \mathbf{v}$ , un choix justifié par la Propriété 3 et la Propriété 5 suivante. On a

### Propriété 4

$$\mathbf{r}_c^{(n)} = A_c^n \mathbf{v} \geq 0, \quad \text{et} \quad \|\mathbf{r}_c^{(n)}\|_1 = \mathbf{e}^T \mathbf{r}_c^{(n)} = 1, \quad n = 0, 1, \dots$$

Après quelques calculs, on peut voir qu'une itération de la méthode de la puissance se réduit à

$$\mathbf{r}_c^{(n+1)} = cP^T \mathbf{r}_c^{(n)} + c(\mathbf{d}^T \mathbf{r}_c^{(n)})\mathbf{w} + (1 - c)\mathbf{v}.$$

MATHEMATIQUES ET MOTEURS DE RECHERCHE

On a donc seulement à effectuer des produits par la matrice très creuse  $P^T$ . De plus, ni  $A_c$  ni  $\tilde{A}$  ne doivent être gardés en mémoire.

Le vecteur  $\mathbf{d}$  peut également être éliminé et l'on obtient, pour un vecteur  $\mathbf{x}$  quelconque,

$$A_c \mathbf{x} = cP^T \mathbf{x} + (c\|\mathbf{x}\|_1 - \|cP^T \mathbf{x}\|_1)\mathbf{w} + (1-c)\|\mathbf{x}\|_1 \mathbf{v}.$$

On a finalement

$$\mathbf{r}_c^{(n+1)} = A_c \mathbf{r}_c^{(n)} = cP^T \mathbf{r}_c^{(n)} + (c - \|cP^T \mathbf{r}_c^{(n)}\|_1)\mathbf{w} + (1-c)\mathbf{v}.$$

Si  $\mathbf{w} = \mathbf{v}$ , la formule se simplifie encore.

Comme démontré dans [1], une propriété importante est que les vecteurs  $\mathbf{r}_c^{(n)}$  sont les sommes partielles de la seconde série donnée dans la Propriété 2 (nous donnons également une somme partielle reliée à la première de ces séries)

**Propriété 5**

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_c^{(n)} &= (1-c) \sum_{i=0}^{n-1} c^i \tilde{A}^i \mathbf{v} + c^n \tilde{A}^n \mathbf{v}, \quad n \geq 0, \\ &= \mathbf{v} + c(\tilde{A} - I) \sum_{i=0}^{n-1} c^i \tilde{A}^i \mathbf{v}. \end{aligned}$$

On en déduit immédiatement les deux Propriétés suivantes [1]

**Propriété 6**

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_c^{(0)} &= \mathbf{v} \\ \mathbf{r}_c^{(n+1)} &= \mathbf{r}_c^{(n)} + c^{n+1}(\tilde{A} - I)\tilde{A}^n \mathbf{v}, \quad n = 0, 1, \dots \end{aligned}$$

**Propriété 7**

$$(\tilde{A} - I)\tilde{A}^n \mathbf{v} = \frac{1}{c^{n+1}}(\mathbf{r}_c^{(n+1)} - \mathbf{r}_c^{(n)}), \quad n = 0, 1, \dots$$

Ces deux Propriétés montrent qu'il est possible d'appliquer simultanément la méthode de la puissance pour différentes valeurs de  $c$  pratiquement sans coût additionnel. Ainsi, on obtient les itérés  $\mathbf{r}_{\tilde{c}}^{(n)}$  de la méthode de la puissance pour une valeur différente  $\tilde{c}$  de  $c$  par

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{\tilde{c}}^{(0)} &= \mathbf{v} \\ \mathbf{r}_{\tilde{c}}^{(n+1)} &= \mathbf{r}_{\tilde{c}}^{(n)} + \tilde{c}^{n+1} \frac{1}{c^{n+1}}(\mathbf{r}_c^{(n+1)} - \mathbf{r}_c^{(n)}), \quad n = 0, 1, \dots \end{aligned}$$

À partir des itérés de la méthode de la puissance, il est possible d’obtenir des approximations rationnelles et polynomiales du vecteur  $\mathbf{r}_c$ . Ces approximations sont basées sur les expressions exactes correspondantes données plus haut, tout simplement en choisissant des degrés plus petits. En particulier, des approximations de type Padé peuvent être construites. Sur ces questions, voir [3].

## 5 Accélération de la méthode de la puissance

Comme nous l’avons dit, la vitesse de convergence de la méthode de la puissance est régie par  $c^n$ . Pour accélérer la suite de vecteurs qu’elle fournit, nous allons la transformer en une autre suite sans modifier pour autant les itérations.

D’après la Propriété 3,  $\mathbf{r}_c = Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v}$ , où  $\Pi_m(\lambda) = (\lambda - 1)Q_{m-1}(\lambda)$  est le polynôme minimal de  $A_c$  pour le vecteur  $\mathbf{v}$ . Nous avons

$$\mathbf{r}_c = A_c^n \mathbf{r}_c = A_c^n Q_{m-1}(A_c)\mathbf{v} = Q_{m-1}(A_c)A_c^n \mathbf{v} = Q_{m-1}(A_c)\mathbf{r}_c^{(n)}. \quad (4)$$

En remplaçant, dans cette relation,  $Q_{m-1}$  par un polynôme  $Q_{k-1}$  de degré  $k-1 \leq m-1$  nous obtenons des approximations polynomiales de  $\mathbf{r}_c$  de la forme

$$\mathbf{r}_c^{(k,n)} = Q_{k-1}(A_c)\mathbf{r}_c^{(n)}. \quad (5)$$

Comme nous allons le voir, les polynômes  $Q_{k-1}$  sont construits à partir des vecteurs  $\mathbf{r}_c^{(i)}$  pour  $i \geq n$ . Sous certaines hypothèses, les nouvelles suites  $(\mathbf{r}_c^{(k,n)})$  ainsi obtenues convergent vers  $\mathbf{r}_c$  plus vite que la suite  $(\mathbf{r}_c^{(n+k)})$  fournie par la méthode de la puissance. Lorsque  $k$  augmente, les  $\mathbf{r}_c^{(k,n)}$  deviennent des approximations de plus en plus précises de  $\mathbf{r}_c$ , mais elles nécessitent de garder en mémoire de plus en plus de vecteurs ce qui, compte tenu de la dimension du problème, est rapidement prohibitif.

Maintenant, en utilisant la formule (5), nous allons expliquer de manière différente, simplifier et généraliser la méthode d’accélération de la convergence donnée dans [6] sous le nom de *Quadratic Extrapolation*. Il s’agit d’une généralisation du procédé  $\Delta^2$  d’Aitken qui est bien connu. On va d’abord calculer les coefficients d’un polynôme  $P_k$  qui approxime  $\Pi_m$ . On pose  $P_k(\lambda) = a_0 + \dots + a_k \lambda^k$ , où les  $a_i$  dépendent de  $k$  et d’un autre indice noté  $n$ . On impose que  $P_k(1) = a_0 + \dots + a_k = 0$  puisque 1 est valeur propre de  $A_c$ . Considérons la matrice suivante dont les colonnes sont  $k$  itérés successifs de la méthode de la puissance

$$R_n = [\mathbf{r}_c^{(n)}, \dots, \mathbf{r}_c^{(n+k-1)}].$$

Puisque, pour tout  $n$ ,  $\mathbf{r}_c^{(n)} = A_c^n \mathbf{v}$ , on obtient

$$A_c^n P_k(A_c)\mathbf{v} = P_k(A_c)\mathbf{r}_c^{(n)} = a_0 \mathbf{r}_c^{(n)} + \dots + a_k \mathbf{r}_c^{(n+k)} \simeq 0. \quad (6)$$

MATHEMATIQUES ET MOTEURS DE RECHERCHE

Sans restreindre la généralité, on peut supposer que  $a_k = 1$ . La relation (15) peut donc être écrite

$$R_n \mathbf{a} \simeq -\mathbf{r}_c^{(n+k)},$$

avec  $\mathbf{a} = (a_0, \dots, a_{k-1})^T$ . La résolution de ce système au sens des moindres carrés donne

$$\mathbf{a} = -(R_n^T R_n)^{-1} R_n^T \mathbf{r}_c^{(n+k)}. \quad (7)$$

Signalons que ces calculs peuvent se simplifier en suivant la procédure décrite dans [6].

On calcule ensuite  $\mathbf{r}_c^{(k,n)}$  par (5). On pose

$$Q_{k-1}(\lambda) = b_0 + b_1 \lambda + \dots + b_{k-1} \lambda^{k-1},$$

avec

$$b_i = -(a_0 + \dots + a_i) = a_{i+1} + \dots + a_k, \quad i = 0, \dots, k-1, \quad (8)$$

et l'on obtient finalement

$$\mathbf{r}_c^{(k,n)} = Q_{k-1}(A_c) \mathbf{r}_c^{(n)} = b_0 \mathbf{r}_c^{(n)} + b_1 \mathbf{r}_c^{(n+1)} + \dots + b_{k-1} \mathbf{r}_c^{(n+k-1)}. \quad (9)$$

Puisque  $\mathbf{r}_c^{(n+i)} = A_c^i \mathbf{r}_c^{(n)}$ , cette relation montre que  $\mathbf{r}_c^{(k,n)} \in K_k(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)})$ , le sous-espace de Krylov de dimension  $k$  généré par les vecteurs  $\mathbf{r}_c^{(n)}, \dots, A_c^{k-1} \mathbf{r}_c^{(n)}$ . De plus, le vecteur

$$\mathbf{e}^{(k,n)} = P_k(A_c) \mathbf{r}_c^{(n)} = (A_c - I) Q_{k-1}(A_c) \mathbf{r}_c^{(n)} = A_c \mathbf{r}_c^{(k,n)} - \mathbf{r}_c^{(k,n)}$$

appartient à  $K_{k+1}(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)})$ . D'où finalement le

**Théorème 2**

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_c^{(k,n)} &\in \mathbf{r}_c^{(n+k-1)} + K_{k-1}(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)}) \\ A_c \mathbf{r}_c^{(k,n)} - \mathbf{r}_c^{(k,n)} &\perp K_k(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)}). \end{aligned}$$

De plus, puisque  $K_k(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)}) \subseteq K_{k+1}(A_c, \mathbf{r}_c^{(n)})$ , il vient le

**Corollaire 1**

$$\|\mathbf{e}^{(k+1,n)}\| \leq \|\mathbf{e}^{(k,n)}\|.$$

La *Quadratic Extrapolation* présentée dans [6] correspond à  $k = 3$ . Nous l'avons donc généralisée pour une valeur arbitraire de  $k$  et interprétée dans le cadre des méthodes de sous-espaces de Krylov.

Il est également possible d'accélérer la convergence de la méthode de la puissance en utilisant l'un des  $\epsilon$ -algorithmes qui sont des transformations de suites généralisant le procédé  $\Delta^2$  d'Aitken [2].

## 6 Procédures d’extrapolation

D’après le Théorème 1,  $r_c$  est une fonction rationnelle avec un numérateur de degré  $p - 1$  à coefficients vectoriels et un dénominateur scalaire de degré  $p - 1$ . De plus,  $r_c$  tend vers le vecteur PageRank  $\tilde{r}$  lorsque  $c$  tend vers 1.

Nous allons donc calculer  $r_c$  pour différentes valeurs de  $c$  plus petites que celle désirée (nous avons mentionné à la fin de la Section 4 que le surcoût était faible), interpoler ces vecteurs par une fraction rationnelle de même type mais avec des degrés plus petits, puis extrapoler cette fraction rationnelle au point  $c$  désiré. Bien entendu, pour qu’une telle procédure fournisse de bons résultats, il est nécessaire que la fraction rationnelle d’extrapolation représente de la manière la plus convenable possible le comportement exact de  $r_c$  en fonction de  $c$ .

Ce comportement, nous l’avons vu, nous est justement donné par le Théorème 1. C’est pour cela que nous prendrons une fraction rationnelle d’extrapolation de la forme

$$\mathbf{p}(c) = \frac{\mathbf{P}_k(c)}{Q_k(c)}, \quad (10)$$

où  $\mathbf{P}_k$  et  $Q_k$  sont des polynômes de degré  $k \leq p - 1$  (le premier à coefficients vectoriels). Les coefficients de  $\mathbf{P}_k$  et  $Q_k$  sont solution du problème d’interpolation

$$Q_k(c_i)\mathbf{p}_i = \mathbf{P}_k(c_i), \quad i = 0, \dots, k, \quad (11)$$

avec  $\mathbf{p}_i = \mathbf{r}_{c_i}$  et les  $c_i$  distinct dans  $]0, 1[$ .

Les polynômes  $\mathbf{P}_k$  et  $Q_k$  sont donnés par la formule d’interpolation de Lagrange

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_k(c) &= \sum_{i=0}^k L_i(c)\mathbf{P}_k(c_i), \\ Q_k(c) &= \sum_{i=0}^k L_i(c)Q_k(c_i) \end{aligned} \quad (12)$$

avec

$$L_i(c) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^k \frac{c - c_j}{c_i - c_j}, \quad i = 0, \dots, k.$$

D’où, d’après (11),

$$\mathbf{P}_k(c) = \sum_{i=0}^k L_i(c)Q_k(c_i)\mathbf{p}_i. \quad (13)$$

Voyons comment calculer  $Q_k(c_0), \dots, Q_k(c_k)$ . On suppose que, pour  $c^* \neq c_i, i = 0, \dots, k$ , le vecteur  $\mathbf{r}_{c^*}$  est connu. Selon (10) et (13), on peut l’approximer par

$$\mathbf{p}(c^*) = \sum_{i=0}^k L_i(c^*)a_i(c^*)\mathbf{p}_i, \quad (14)$$

avec  $a_i(c^*) = Q_k(c_i)/Q_k(c^*)$ .

Soient maintenant  $\mathbf{s}_0, \dots, \mathbf{s}_k$ ,  $k + 1$  vecteurs linéairement indépendants. En effectuant les produits scalaires avec le vecteur  $\mathbf{p}(c^*)$ , donné par (14), et avec  $\mathbf{r}_{c^*}$ , on obtient  $a_0(c^*), \dots, a_k(c^*)$  comme solution du système de  $k + 1$  équations linéaires

$$\sum_{i=0}^k (\mathbf{p}_i, \mathbf{s}_j) L_i(c^*) a_i(c^*) = (\mathbf{r}_{c^*}, \mathbf{s}_j), \quad j = 0, \dots, k. \quad (15)$$

Une fois les  $a_i(c^*)$  obtenus, on obtient une approximation de  $\mathbf{r}_c$  pour une valeur quelconque de  $c$  par la formule

$$\mathbf{p}(c) = \frac{\sum_{i=0}^k L_i(c) a_i(c^*) \mathbf{p}_i}{\sum_{i=0}^k L_i(c) a_i(c^*)}. \quad (16)$$

Le calcul de  $\mathbf{p}(c)$  par cette méthode d’extrapolation requiert la connaissance de  $\mathbf{r}_c$  pour  $k + 2$  valeurs distinctes de  $c$ . La procédure complète est donc la suivante

1. Choisir  $k + 2$  valeurs distinctes de  $c : c_0, \dots, c_k$  et  $c^*$ .
2. Calculer  $\mathbf{p}_i = \mathbf{r}_{c_i}$  pour  $i = 0, \dots, k$ , et  $\mathbf{r}_{c^*}$ .
3. Choisir  $k + 1$  vecteurs linéairement indépendants vectors  $\mathbf{s}_0, \dots, \mathbf{s}_k$  (par exemple prendre  $\mathbf{s}_i = \mathbf{p}_i$  pour  $i = 0, \dots, k$ ).
4. Résoudre le système (15) pour les inconnues  $a_0(c^*), \dots, a_k(c^*)$ .
5. Calculer une approximation  $\mathbf{p}(c)$  de  $\mathbf{r}_c$  par la formule (16).

D’autres procédures d’extrapolation ainsi que des résultats numériques sont donnés dans [4].

## 7 Conclusions

Nous avons présenté ici le problème du classement par ordre d’importance des pages du web. Ce classement est basé sur l’algorithme PageRank mis au point par les créateurs de Google. Nous avons passé en revue les idées fondamentales sous-jacentes à cet algorithme, discuté de la méthode de la puissance pour sa mise en œuvre et fait apparaître ses difficultés. Ensuite, nous avons montré comment accélérer sa convergence et extrapoler les vecteurs ainsi obtenus. Il faut bien comprendre cependant que cet algorithme n’est que l’un de ceux utilisés dans les moteurs de recherche. On ne sait même pas s’il est encore utilisé à l’heure actuelle, ce domaine étant couvert par le secret industriel. La question a cependant été largement étudiée dans la communauté d’algèbre numérique linéaire. En effet, le même type de problème se rencontre dans d’autres secteurs des mathématiques appliquées. En tous les cas, c’est un bel exemple pour illustrer les cours d’analyse numérique sur le calcul des éléments propres d’une matrice !

## Références

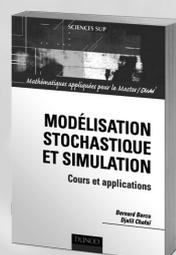
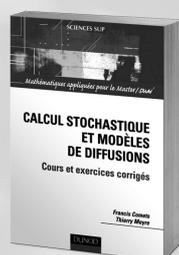
- [1] P. Boldi, M. Santini, S. Vigna, PageRank as a function of the damping factor, in *Proc. of the Fourteenth International World Wide Web Conference*, ACM Press, 2005, pp. 557-566.
- [2] C. Brezinski, M. Redivo-Zaglia, *Extrapolation Methods. Theory and Practice*, North-Holland, Amsterdam, 1991.
- [3] C. Brezinski, M. Redivo-Zaglia, The PageRank vector: properties, computation, approximation, and acceleration, *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 28 (2006) 551–575.
- [4] C. Brezinski, M. Redivo-Zaglia, Rational extrapolation for the PageRank vector, *Math. Comp.*, à paraître.
- [5] S. Brin, L. Page, The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine, *Comput. Networks and ISDN Syst.*, 30 (1998) 107–117.
- [6] S.D. Kamvar, T.H. Haveliwala, C.D. Manning, G.H. Golub, Extrapolations methods for accelerating PageRank computations, in *Proceedings of the 12th International World Wide Web Conference*, ACM Press, New York, 2003, pp. 261–270.
- [7] A.N. Langville, C.D. Meyer, *Google's PageRank and Beyond : The Science of Search Engine Rankings*, Princeton University Press, Princeton, 2006.
- [8] S. Serra-Capizzano, Jordan canonical form of the Google matrix : a potential contribution to the PageRank computation, *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 27 (2005) 305–312.

# 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

## 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 en est la première partie. La seconde paraîtra dans le prochain numéro.

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

### Sommaire de la Partie I

- 1. Laboratoire Jacques Louis Lions - Paris VI
- 2. Projet BANG
- 3. CMAP - Ecole Polytechnique
- 4. CMLA - ENS Cachan
- 5. Projet Angiogenèse - IMAG

## 1 Laboratoire Jacques Louis Lions, Paris 6

### 1.1 Systèmes dynamiques

par Jean Pierre François ([jpf@math.jussieu.fr](mailto:jpf@math.jussieu.fr))

Equipe : ACI NIM Instantbio

Une nouvelle interaction des mathématiques consiste à développer les systèmes dynamiques (en dimension finie ou infinie) en interaction avec les rythmes du vivant. Dans le cadre de l’ACI NIM Instantbio (Instabilités structurelles et analyse temporo-spatiale en biologie), portée par J.P. François, nous avons réalisé les travaux suivants :

- La construction d’un modèle universel formé de deux dynamiques excitables à deux échelles de temps couplées. En utilisant la théorie des bifurcations et les méthodes des systèmes dynamiques lents-rapides, nous avons montré que ce modèle peut expliquer les rythmes complexes formés d’alternance de mode pulsatile et de mode décharge souvent observés dans les sécrétions neuroendocrines [5].
- Généralisation d’un théorème de Maurice Roseau sur les conditions de synchronisation d’un réseau d’oscillateurs faiblement couplés. Ce sujet avait été très développé en France dans le laboratoire de mécanique théorique de Paris 6 autour de Maurice Roseau [4].
- Calcul de l’équation approchée d’une isochrone pour les systèmes de Liénard [3].
- Thèse d’Alexandre Vidal à l’UPMC, Paris 6 portant sur l’étude des oscillations en salves. Il s’agissait en particulier d’examiner les conditions d’existence d’orbites périodiques stables associées. Un nouveau type d’oscillations, caractérisé par une transition transcritique au lieu d’un pli, a été mis en évidence et étudié [6], [7], [8].

## Références

- [1] J.-P. Françoise, C. Piquet, *Hysteresis Dynamics, Bursting oscillations and evolution to chaotic motions*. Acta Biotheoretica, vol. 53, n° 4, 381-392 (2005)
- [2] J.-P. Françoise, *Oscillations en Biologie : analyse qualitative et modèles*. Collection « mathématiques et applications » de la SMAI, Springer, (2005).
- [3] J. Demongeot, J.-P. Françoise, *Approximations for limit cycles and their isochrons*. Comptes-rendus Biologie, 329, n° 12, 967-970 (2006).
- [4] A. Buica, J.-P. Françoise, J. Llibre *Periodic solutions of non linear periodic differential systems with a small parameter*. Communications on Pure and Applied Analysis, vol. 6, 103-111 (2007).
- [5] F. Clément, J.-P. Françoise, *Mathematical modeling of the GnRH-pulse and surge generator*, SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, Vol 6, (2007), N 3, 441-456.
- [6] J.-P. Françoise, C. Piquet et A. Vidal, *Enhanced delay to bifurcation*, Société Simon Stevin, Annales de l'académie des sciences de Belgique (to appear).
- [7] A. Vidal, *Stable periodic orbits associated with bursting oscillations in population dynamics in Positive Systems*, (C. Commault et M. Marchand, Edts) Lecture Notes in Control and Information Sciences 341, Springer, 439-446 (2007).
- [8] A. Vidal, *Periodic orbits of tritrophic slow-fast systems and double homoclinic bifurcations*. Discrete and Continuous Dynamical Systems (to appear).

## 2 Projet Bang

par Jean Clairambault ([jean.clairambault@inria.fr](mailto:jean.clairambault@inria.fr))  
et Benoît Perthame ([Benoit.Perthame@inria.fr](mailto:Benoit.Perthame@inria.fr))

### Equipe(s) :

INRIA, projet BANG (<http://www-rocq.inria.fr/bang>)  
et Équipe INSERM U 776 « Rythmes Biologiques et Cancers »,  
<http://rbc.vjf.inserm.fr>

### 2.1 Physiologie de la prolifération cellulaire

La prolifération cellulaire est le processus physiologique qui est à la base de la constitution des tissus des organismes vivants et de leur permanence, par la production de cellules jeunes qui viennent compenser les pertes. Particulièrement actif dans les tissus à renouvellement rapide (on estime par exemple à 40% le taux de renouvellement quotidien des cellules fonctionnelles de la muqueuse jéjunale

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

normale), ce processus repose sur le *cycle de division cellulaire*, qui conduit à la division d’une cellule en deux lors de la mitose, et est normalement très contrôlé au niveau de chaque cellule en prolifération et à celui des populations de cellules d’un tissu. Un fonctionnement défectueux, dû à des mutations de gènes dits supprimeurs de tumeurs, des *points de contrôle* intervenant à des moments-clés du cycle, résulte en une prolifération anormale des populations de cellules atteintes, une croissance non contrôlée et, *in fine*, en un cancer.

Fonctionnels (cas des tissus normaux) ou perturbés (cas des tumeurs solides, ou des hémopathies malignes), les points de contrôle du cycle cellulaire, où est vérifiée l’intégrité du génome d’une cellule en voie de dupliquer son matériel génétique, sont le lieu de tests de la part de molécules sentinelles telles que la protéine *p53*. Le passage à travers ces points de contrôle peut être bloqué par des médicaments, soit directement, soit par leur effet délétère sur les constituants essentiels de la cellule (ADN, ARN, tubulines,...) et l’appel qui résulte de ces lésions aux molécules gardiennes de l’intégrité du génome (et notamment *p53*). Ces points sont ainsi les principales cibles de contrôles qui peuvent être aussi bien physiologiques (hormones, horloge circadienne moléculaire) que pharmacologiques (médicaments anticancéreux).

### 2.2 Des modèles de la prolifération cellulaire

Il existe certes des modèles du cycle cellulaire décrivant à l’aide d’équations différentielles ordinaires (EDO) l’évolution des concentrations en molécules (*cyclines, Cdk, pRb, E2F,...*) d’une cellule engagée individuellement dans le cycle jusqu’à sa division. Mais la prolifération est affaire de tissus plus que de cellules, et c’est avec des équations aux dérivées partielles (EDP) structurées en âge (physiologique dans chaque phase du cycle), en maturité ou en contenu moléculaire en protéines (cyclines, notamment), qu’on peut représenter le plus naturellement l’évolution de la densité d’une population de cellules, du moins lorsqu’une taille suffisante de la population justifie l’utilisation d’un modèle continu pour décrire sa dynamique.

Dans le projet Bang de l’INRIA-Rocquencourt ont été développés de façon complémentaire deux types de tels modèles EDP, l’un, linéaire, qui décrit le comportement de croissance initiale d’une population tumorale non freinée par des limitations en espace ni en accès aux ressources énergétiques, l’autre, non linéaire, qui rend compte des échanges entre une sous-population proliférante, c’est-à-dire engagée dans le cycle de division cellulaire, et une autre, quiescente, dans laquelle aucun processus de prolifération n’est en cours.

Le premier modèle, du type Von Foerster-McKendrick, est le suivant :

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} n_i(t, a) + \frac{\partial}{\partial a} (v_i(a) n_i(t, a)) + (d_i + K_{i \rightarrow i+1}(t, a)) n_i(t, a) = 0, \\ v_i(0) n_i(t, a = 0) = \int_{\alpha \geq 0} K_{i-1 \rightarrow i}(t, \alpha) n_{i-1}(t, \alpha) d\alpha, \\ 2 \leq i \leq I \\ n_1(t, a = 0) = 2 \int_{\alpha \geq 0} K_{I \rightarrow 1}(t, \alpha) n_I(t, \alpha) d\alpha, \end{cases}$$

où  $\sum_{i=1}^I \int_{\alpha \geq 0} n_i(t, \alpha) d\alpha = 1$  ;  $v_i(a)$  est une « vitesse d'évolution » de l'âge  $a$  dans la phase  $i$  par rapport au temps  $t$ ,  $d_i$  un taux de mort et  $K_{i \rightarrow i+1}(t, a) = \psi_i(t) \mathbb{1}_{\{a \geq a_i\}}(a)$  et où  $\psi_i(t)$  représente un contrôle physiologique ou pharmacologique, qui peut être constant ou périodique.

Ses solutions  $n_i$  (l'index  $i$  étant celui de la phase du cycle), dont l'existence résulte du théorème de Krein-Rutman, ont un comportement asymptotique exponentiel en temps, avec un exposant (le même pour toutes les phases) qui est la valeur propre de Perron de l'opérateur différentiel sous-jacent.

Le deuxième est structuré à la fois en âge  $a$  et en une variable  $x$  représentant la cycline D (qui, physiologiquement, contrôle l'évolution dans la phase  $G_1$  du cycle cellulaire). Il s'écrit :

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} p(t, a, x) + \frac{\partial}{\partial a} (\Gamma_0 p(t, a, x)) + \frac{\partial}{\partial x} (\Gamma_1(a, x) p(t, a, x)) = \\ - (L(a, x) + F(a, x) + d_1) p(t, a, x) + G(N(t)) q(t, a, x), \\ \frac{\partial}{\partial t} q(t, a, x) = L(a, x) p(t, a, x) - (G(N(t)) + d_2) q(t, a, x). \end{cases}$$

où  $p$  et  $q$  sont les densités de cellules dans les compartiments proliférant et quiescent, respectivement,  $N = p + q$ ,  $\Gamma_1$  représente une vitesse d'évolution de la concentration  $x$  en cycline D par rapport à l'âge  $a$ ,  $F$  décrit la division cellulaire,  $L$  est une fonction de « fuite » du compartiment proliférant vers le compartiment quiescent,  $G$  une fonction de « recrutement » de la quiescence vers la prolifération, et  $d_1$  et  $d_2$  sont des taux de mort dans chaque compartiment.

Suivant la nature, et en particulier le comportement à l'infini de la fonction  $G$ , les solutions peuvent présenter une croissance asymptotique exponentielle, polynomiale, ou stationnaire. Ce modèle est ainsi apte à décrire la croissance naturelle de tissus tumoraux comme de tissus sains. On peut éventuellement l'associer au précédent, les échanges prolifération-quiescence se faisant alors entre la phase quiescente  $G_0$  et la première phase,  $G_1$ , du cycle de division.

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Ce modèle s’inscrit dans la continuité de modèles classiques « prolifération-quiescence », tels que :

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} p(t, x) + \frac{\partial}{\partial x} p(t, x) + [K(x) + \gamma(t)]p(t, x) = 0, \\ \frac{\partial}{\partial t} q(t, x) + \frac{\partial}{\partial x} q(t, x) + [\beta(t) + \delta(t)]q(t, x) = 0, \\ p(t, 0) = \beta(t) \int_0^\infty q(t, \xi) d\xi, \quad p(0, x) = p^0(x), \\ q(t, 0) = 2 \int_0^\infty K(\xi) p(t, \xi) d\xi, \quad q(0, x) = q^0(x). \end{cases}$$

Ici,  $K$  représente la mitose en fin de phase proliférante, et  $\beta$  est un terme de « réintroduction » de cellules de la phase quiescente en phase proliférante [la fonction  $\beta$  dépendant en fait de façon décroissante de  $Q(t) = \int_0^\infty q(t, \xi) d\xi$ , population totale des cellules en phase quiescente, par exemple sous la forme  $\beta(Q) = \frac{k\theta^n}{\theta^n + Q^n}$ ,  $n \in \mathbb{N}^*$ ], et  $\gamma$  et  $\delta$  sont des taux de mort. En intégrant en  $x$  le long des caractéristiques et en considérant la totalité des cellules quiescentes  $Q(t) = \int_0^{+\infty} q(t, \xi) d\xi$ , et la totalité des cellules proliférantes  $P(t) = \int_0^{+\infty} p(t, \xi) d\xi$ , on peut obtenir un système d’équations à retard :

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} + \gamma P(t) - \beta(Q(t))Q(t) + \beta(Q(t-\tau))e^{-\gamma\tau}Q(t-\tau) = 0, \\ \frac{dQ(t)}{dt} + [\beta(Q(t)) + \delta]Q(t) - 2\beta(Q(t-\tau))e^{-\gamma\tau}Q(t-\tau) = 0. \end{cases}$$

où  $\tau$  représente la durée de la phase proliférante, c’est-à-dire la durée du cycle cellulaire, le terme de mitose  $K(\xi) d\xi$  étant remplacé par une mesure de Dirac localisée en  $\xi = \tau$ . La condition initiale en  $Q$  sur  $[0, \tau]$  est donnée, toujours par intégration le long des caractéristiques, par la solution de l’équation différentielle  $\frac{dQ}{dt} + [\beta(Q(t)) + \delta]Q = 2e^{-\gamma\tau}p^0(\tau - t)$  pour  $0 < t < \tau$ . Cette expression de la dynamique d’une population de cellules proliférantes sous forme d’un système à retard a été popularisée dans des travaux sur l’hématopoïèse physiologique et ses dérèglements (notamment dans les leucémies), travaux en particulier de Michael Mackey et ses élèves depuis la fin des années 70.

### 2.3 Contrôle et optimisation thérapeutique

Partant de ces modèles de la prolifération cellulaire, on peut poser le problème de la représentation de son contrôle, qu’il soit physiologique (hormones, horloges circadiennes contrôlant les transitions de phases) ou pharmacologique (médicaments anticancéreux) : quelles en peuvent être les cibles (taux de transition entre phases du cycle, taux de mort, taux de réintroduction en phase proliférante...), comment décrire l’évolution (activation et dégradation enzymatique, efflux transmembranaire actif) et le mode d’action des molécules actives au niveau cellulaire, et comment optimiser leur administration ? Donner la réponse à ces questions suppose le développement d’une *pharmacocinétique-pharmacodynamie moléculaire* encore débutante au niveau de la cellule, en particulier pour les médicaments anticancéreux, et sa mise en rapport avec une pharmacocinétique corps entier (analyse du devenir des concentrations en molécules dans les organes à partir d’une administration ponctuelle ou en continu, orale ou intraveineuse) déjà plus développée -surtout dans l’industrie pharmaceutique- mais aussi tenant compte de l’influence des *horloges circadiennes cellulaires* (et de leur pacemaker hypothalamique) dans le contrôle, et de la prolifération cellulaire, et de l’activité enzymatique cellulaire de traitement des médicaments.

Enfin, à partir du moment où ont été définies des contraintes (toxicité maximale admissible pour les organes sains, minimisation de l’apparition de résistances acquises aux médicaments), on peut poser le problème de l’*optimisation thérapeutique* pour l’objectif de détruire les cellules malades (la thérapeutique idéale serait de restaurer leur normalité plutôt que de les détruire, mais on ne dispose pas à l’heure actuelle de médicaments capables d’un tel résultat).

Ce problème d’optimisation thérapeutique -dont une solution est par exemple la définition du débit optimal d’un médicament injectable par une pompe programmable- devra aussi, par une adaptation individuelle des paramètres des modèles, intégrer, pour personnaliser au mieux les traitements, le *polymorphisme génétique* des enzymes et des transporteurs impliqués dans le traitement cellulaire des médicaments. C’est un des enjeux de la personnalisation des traitements, qui est surtout traitée actuellement par une approche de *pharmacocinétique-pharmacodynamie populationnelle* (c’est-à-dire dans une démarche statistique sur des populations de patients). Une modélisation mathématique à but prédictif, avec identification de paramètres sur des bases moléculaires, a l’ambition d’apporter une base physiologique à l’approche phénoménologique qui a cours le plus souvent aujourd’hui en pharmacologie clinique, et de contribuer à affiner l’optimisation des traitements médicamenteux des cancers.

### 3 CMAP, Ecole Polytechnique

par Sylvie Méléard

meleard@cmapx.polytechnique.fr

**Equipe :** CMAP, Ecole Polytechnique

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

#### 3.1 Approche aléatoire

##### 3.1.1 Evolution d'une population asexuée structurée par trait et âge

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

##### 3.1.2 Evolution d'une population sexuée, spéciation d'espèces

L'étude d'une population sexuée est extrêmement complexe car on doit prendre en compte les différents modes d'évolution génétique. Outre les phénomènes de mutation, qui figurent dans la modélisation des populations asexuées, apparaissent ici en plus des phénomènes de recombinaison génétique qu'il faut prendre en compte, induisant des mécanismes de sélection au niveau des gènes, liés à une fonction d'appariement entre les individus. L'idée est de généraliser à

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

ces populations sexuées une approche individu-centrée que nous avons développée dans le cas des populations asexuées. On fait le lien entre cette modélisation probabiliste et les travaux des biologistes Doebeli et Burgers.

### 3.1.3 Mesures quasi-stationnaires pour des modèles d'évolution

Les mesures quasi-stationnaires décrivent le comportement en temps long de processus conditionnés à ne pas s'éteindre. Dans le cas des populations qui nous intéressent, soumises à une sélection de type logistique, le processus aléatoire qui décrit cette population s'éteint en temps fini. Il est donc particulièrement intéressant de mettre en évidence ces stabilités en temps long, quand on conditionne à la non extinction. Elles décrivent des états qui peuvent apparaître comme stationnaires avant l'extinction finale, états que les biologistes cherchent à décrire, et à prédire. La non linéarité des modèles et les comportements spécifiques des processus de population rendent ces problèmes riches et originaux.

### 3.1.4 Mécanismes de branchements évolutifs

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

## 3.2 Approche déterministe

### 3.2.1 Ecoulements Ferrofluides

Il s'agit d'un modèle introduit par Rosensweig : l'écoulement d'une suspension de particules magnétiques dans un fluide incompressible ou compressible sous l'action du gradient d'un champ magnétique appliqué. Le modèle est monophasique et suppose que tout le fluide soit aimanté. Il est décrit par quatre variables d'état : la vitesse du fluide vérifiant les équations de Navier Stokes, l'équation de type chaleur satisfaite par le moment d'inertie (ou angulaire), l'équation de Bloch satisfaite par l'aimantation et enfin les équations de Maxwell pour le champ

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

magnétique. Ces équations sont couplées entre elles et le couplage le plus important est donné par la force de Kelvin comme terme de source de l'équation de Navier Stokes. Cette force est donnée par le gradient du champ magnétique dans la direction de l'aimantation. Dans un récent travail en collaboration avec Youcef Amirat, François Murat, nous avons établi que le modèle est bien posé et démontré l'existence globale de solutions faibles ayant une énergie finie. Les questions futures concernent le modèle avec l'équation de la magnétohydrostatique complète, de l'équation de Bloch (sans diffusion) au lieu de l'équation de Bloch-Torrey, du modèle compressible. Il s'agira aussi d'étudier le modèle diphasique avec une suspension de particules aimantées dans un fluide visqueux en vue de l'application de ce modèle au traitement médical et à la toxicité.

### 3.2.2 Le transport ionique dans le canal d'une protéine

Le problème s'inscrit dans le cadre de la compréhension de l'activité cellulaire. La cellule est le siège de très nombreuses réactions chimiques et d'échanges avec l'extérieur. Le modèle habituellement utilisé est donné par les équations de Poisson-Nernst-Planck. La géométrie du canal est celle d'un cône infini où l'on impose la densité de chaque espèce et la différence de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Notre objectif est d'analyser ce système PNP. La permittivité électrique dans le canal n'est en réalité pas connue pas plus que les états constants des densités ioniques dans la cellule. L'objectif est l'étude des problèmes inverses associés. Le deuxième objectif est de modéliser le couplage de ce système avec l'extérieur de la cellule. Enfin on introduira une formulation cinétique de ce problème afin d'inclure dans la modélisation des termes de couplage.

### 3.2.3 Les modèles de vascularisation et d'angiogénèse

La formation et le développement de capillaires dans le tissu sanguin sont modélisés par un système de type Euler ou Navier-Stokes compressible où l'équation du moment est pilotée par la force chimotactique donnée par le gradient de la concentration des facteurs chimiques. Cette concentration satisfait une équation de diffusion couplée à l'équation de conservation de la densité par le facteur d'élargissement. Nous avons démontré que le système est bien posé pour tout temps et nous étudions l'approximation chimotactique déduite de ce modèle. L'étude du même modèle, sans diffusion dans l'équation du moment, est importante et fait partie de notre programme de travail. Le modèle d'invasion est proposé par Chaplain et ses co-auteurs. Des modèles plus raffinés sont proposés. Notre objectif est d'analyser ces modèles.

### 3.2.4 La croissance des tumeurs

Il existe de nombreux modèles pour décrire la croissance de tumeurs. Il s’agit de systèmes paraboliques semi-linéaires couplés avec des non linéarités souvent complexes et à frontière libre (la frontière étant celle de la tumeur). Ce programme de recherche est pris en charge par le groupe de l’université d’Alger. Dans un travail en collaboration avec Cherif Ammar-Khodja et Cedric Dupaix nous avons considéré un problème de contrôle optimal pour un modèle de croissance où le contrôle est fait sur densité du traitement injecté. Le critère est une fonctionnelle faisant intervenir la densité des cellules malades. De nombreuses autres questions relatives au contrôle de la croissance existent et font partie de notre programme de recherche.

## 4 CMLA, ENS Cachan

### 4.1 Modèles de sélection pour des populations structurées par rapport à un trait quantitatif

par Laurent Desvillettes [Laurent.Desvillettes@cmla.ens-cachan.fr](mailto:Laurent.Desvillettes@cmla.ens-cachan.fr)  
 et Gaël Raoul [raoul@cmla.ens-cachan.fr](mailto:raoul@cmla.ens-cachan.fr)  
**Equipe : CMLA, ENS Cachan**

On s’intéresse à l’évolution de populations modélisées par une densité  $f := f(t, y) \geq 0$  d’individus qui au temps  $t$  possèdent un trait quantitatif dans l’état  $y \in Y$  (avec par exemple  $Y = \mathbb{R}$ ). Un tel trait peut être concret (taille des individus par exemple) ou bien abstrait (leur vitesse de diffusion dans le milieu par exemple).

On décrit brièvement un travail réalisé en collaboration avec Pierre-Emmanuel Jabin (Lab. Dieudonné, Université de Nice Sophia-Antipolis) et Stéphane Mischler (Ceremade, Université Paris Dauphine), qui porte sur le comportement asymptotique (lorsque  $t \rightarrow \infty$ ) de  $f(t, \cdot)$  lorsque cette fonction satisfait une équation prenant en compte les effets de sélection et de compétition entre individus. Ce travail est l’objet du preprint 2007-02 du CMLA, ENS Cachan.

Le prototype d’une telle équation est

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \left( a(y) - \int_Y b(y, y') f(y') dy' \right) f,$$

où  $a$  représente le taux de croissance (positif ou négatif) des individus ayant le trait  $y$ , lorsque les effets de compétition entre individus ne sont pas pris en

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

compte, et  $b$  est un noyau exprimant cette compétition, qui, en première approximation, est supposée de type logistique. En l’absence de coopération, on prend  $b \geq 0$ .

On s’attend à ce que dans la limite des temps grands, la solution  $f$  de l’équation précédente (dont on peut démontrer l’existence et l’unicité sous des hypothèses raisonnables sur  $a$ ,  $b$  et la donnée initiale) converge vers une stratégie stable d’évolution (ESS) : il s’agit d’un concept issu de la dynamique adaptative, très étudié dans le cadre d’un nombre fini de types d’individus, et que l’on peut étendre au cadre des traits variant continûment. On est capable de démontrer rigoureusement cette convergence dans un certain nombre de cas, la limite de  $f(t, \cdot)$  étant alors de la forme

$$f(\infty, y) = \sum_{j=1}^k \rho_j \delta_{y=y_j^*}. \tag{13}$$

En d’autres termes, un nombre fini de traits (les  $y_j^*$ ,  $j = 1..k$ ) sont sélectionnés parmi le continuum de traits initialement présents. Il est par ailleurs parfois possible de caractériser complètement les paramètres  $\rho_j$  et  $y_j^*$ . On présente une figure montrant un exemple d’évolution avec le temps pour la première équation, qui conduit à une limite du type précédent, avec  $k = 2$  (branching).

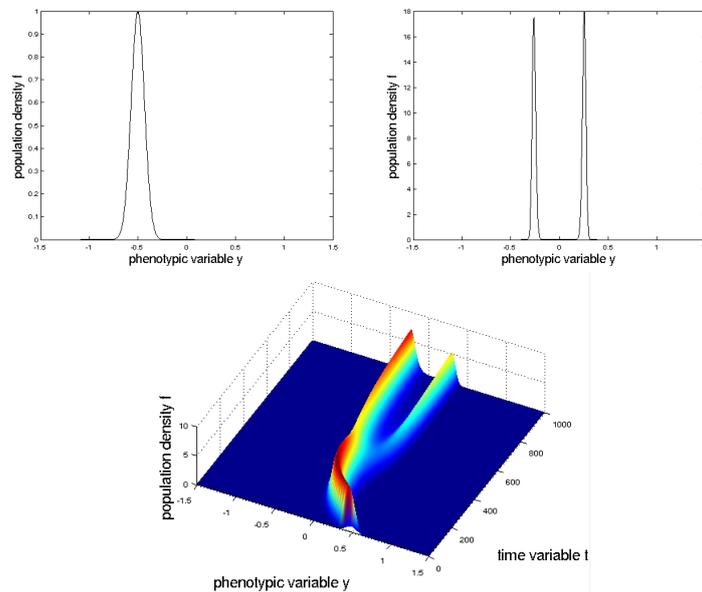


FIG. 1 – Simulation aux temps  $t = 0$ ,  $t = 10\,000$ , et pour  $t \in [0, 10\,000]$ .

## Références

- [1] Bürger R., *The Mathematical Theory of Selection, Recombination and Mutation*. Wiley, New-York 2000.
- [2] Calcina A., Cuadrado S., Small mutation rate and evolutionarily stable strategies in infinite dimensional adaptive dynamics. *J. Math. Biol.* **48**, 135–159 (2004).
- [3] Champagnat N., Ferrière R., Ben Arous G., The canonical equation of adaptive dynamics : A mathematical view. *Selection* **2**, 71–81 (2001).
- [4] Champagnat N., Ferrière R. et Méléard S., Unifying evolutionary dynamics : From individual stochastic processes to macroscopic models. *Theor. Popul. Biol.* to appear.
- [5] Diekmann O., *Beginner’s guide to adaptive dynamics*, vol. 63, Banach Center Publications, 47–86.
- [6] Diekmann O., Gyllenberg M., Metz J.A.J., Steady states analysis of structured population models. *Theor. Popul. Biol.* **63**, 309–338, (2003).
- [7] Geritz S. A. H., Resident-invader dynamics and the coexistence of similar strategies. *J. Math. Biol.* **50**, 67–82, (2005).
- [8] Perthame B., *Transport equation in Biology*, Frontiers in Mathematics, Birkhäuser (2005).

### 4.2 Modélisation des accidents vasculaires cérébraux et fronts progressifs

par Guillemette Chapuisat (chapuisat@cmla.ens-cachan.fr)

Equipe(s) CMLA, ENS Cachan

Les accidents vasculaires cérébraux (AVC) sont un enjeu de santé publique majeur. Dans les pays industrialisés, ils représentent la troisième cause de mortalité et la première cause d’handicap acquis à l’âge adulte. Les recherches biologiques et médicales sur le sujet sont extrêmement actives, mais se heurtent d’une part à de fortes difficultés d’expérimentation et d’autre part à des difficultés d’organisation des connaissances. C’est pour ces raisons que la modélisation mathématique des AVC est apparue comme nécessaire. C’est le but de l’ANR AVC-in silico qui regroupe des pharmacologues, des neurologues, des biologistes, des mathématiciens et des informaticiens de Lyon, Grenoble et Paris.

#### 4.2.1 Un modèle global d’AVC

Au sein de ce groupe, nous avons travaillé à l’élaboration d’un modèle phénoménologique global d’AVC ischémique (i.e. sans hémorragie). Ce modèle prend en

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

compte les dépressions corticales envahissantes (DCE) ainsi que les différentes morts cellulaires (apoptose ou nécrose). Les dépressions corticales envahissantes (DCE) consistent en une dépolarisation temporaire et de grande ampleur des neurones qui se propage lentement (environ 3mm/min) dans le cortex cérébral. Ces ondes de dépolarisation semblent avoir une grande importance dans l’aggravation des dommages neuronaux à la suite d’une AVC chez le rongeur [10], mais n’ont jamais été observées de façon fiable chez l’homme [11]. Les difficultés d’observation de ces ondes dans le cerveau humain sont encore à expliquer.

Le modèle d’AVC que nous avons établi est centré autour des échanges ioniques en potassium et en calcium entre les différentes cellules du cerveau (neurones et astrocytes), mais il prend également en compte la diminution du flux sanguin, les variations du facteur d’extraction de l’oxygène, la gestion de l’énergie par la cellule et la mort par apoptose ou par nécrose selon les dommages et la quantité d’énergie disponible. Les détails de ce modèle sont présentés dans l’article [2].

Une des difficultés de la modélisation est la détermination des paramètres du modèle. Comme les valeurs de ces paramètres ne pouvaient pas être tirées de la littérature, nous avons utilisé un algorithme aléatoire détaillé dans [4].

Ce modèle a donné des résultats intéressants sur l’influence de l’intensité et de la durée de la diminution du flux sanguin sur la mort des cellules [3]. En particulier, il a permis d’établir de nouvelles idées pour expliquer les aggravations observées dans certains cas de reperfusion.

Il donne également des pistes pour comprendre les difficultés d’observation des DCE dans le cerveau humain [4], la géométrie du cerveau ainsi que sa composition pourrait être responsable de l’extinction de ces ondes.

### 4.2.2 Quelques résultats mathématiques

Les observations faites sur la propagation des DCE dans le cerveau humain grâce au modèle présenté ci-dessus, nous ont amenés à étudier plus théoriquement l’influence de la géométrie du domaine sur la propagation d’onde progressives. Le système d’équations de réaction-diffusion issu du modèle étant trop compliqué à étudier théoriquement, nous nous sommes restreints à l’étude d’une équation scalaire de réaction-diffusion de type cubique bistable.

$$\partial_t u - \nu \Delta u = \lambda u(u - \theta)(1 - u)$$

J’ai montré [5] que cette équation n’admettait pas de front progressif généralisé dans un cylindre dont le diamètre augmente brutalement. Les DCE existerait donc bien chez l’homme, mais serait stoppées par la première augmentation brutale de l’épaisseur de la matière grise (partie du cerveau où elles se propagent).

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Je me suis aussi intéressée à l'influence de la matière blanche du cerveau sur la propagation de ces DCE. On peut simplifier le modèle ci-dessus en l'équation suivante :

$$\partial_t u - \nu \Delta u = \lambda u(u - \theta)(1 - u)1_{\text{matier grise}} - \alpha u 1_{\text{matiere blanche}}$$

J'ai montré [6] que selon l'épaisseur de la matière grise, cette équation admet ou non une solution de type front progressif.

### 4.2.3 Les travaux en cours

Actuellement, nous essayons de compléter le modèle d'AVC présenté en ajoutant un sous-modèle d'inflammation. En effet, l'inflammation, qui est un processus de type chemotaxie, a une influence importante sur les séquelles de l'AVC. Dans un premier temps, l'effet de l'inflammation est bénéfique, puis dans un second temps, l'accumulation de cellules engendrée par ce processus a un effet délétère. Ce sous-modèle d'inflammation devrait pouvoir à terme être utilisé dans d'autres modèles de maladies neuronales (sclérose en plaque en particulier).

Nous travaillons également à l'élaboration d'un modèle plus détaillé d'apoptose. En effet, une des pistes thérapeutiques pour le traitement de l'AVC est d'empêcher l'apoptose de se faire, mais de nombreuses questions se posent. Dans quels cas est-il intéressant d'essayer de bloquer l'apoptose ? Les cellules ne vont-elles pas alors évoluer vers la nécrose ? A quel niveau de la cascade apoptotique vaut-il mieux agir ? Le modèle d'apoptose que nous sommes en train de construire nous permettra peut-être d'y répondre.

### Compléments

D'autres modèles d'AVC ont déjà été construit dans le cadre du groupe AVC-in silico. Vous pouvez par exemple lire [7, 8] ou [9]. Certains article sont disponibles sur le site <http://www.math.u-psud.fr/~chapuisat>

## Références

- [1] Chan, P.H. *Cerebrovascular Disease 22nd Princeton Conference*. Cambridge University Press, 2002.
- [2] Chapuisat, G ; Dronne, M.A. ; Grenier, E. ; Hommel, M. ; Gilquin, H. ; Boissel J.P. A global phenomenological model of ischemic stroke with stress on spreading depressions. A paraitre dans *Progress in Biophysics and Molecular Biology*.

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

- [3] Chapuisat, G ; Dronne, M.A. ; Grenier, E. ; Hommel, M. ; Gilquin, H. ; Boissel J.P. Influence of intensity and duration of blood flow reduction on the death through apoptosis or necrosis. Preprint.
- [4] Chapuisat, G. Discussion of a simple model of spreading depression. *ESAIM Proc.*(2007)
- [5] Chapuisat, G. ; Grenier, E. Existence and nonexistence of traveling wave solutions for a bistable reaction-diffusion equation in an infinite cylinder whose diameter is suddenly increased. *Commun. Partial Differ. Equations* (2005) 30, No.10-12, 1805-1816
- [6] Chapuisat, G. Existence and non-existence of curved front solution of a biological equation. *Journal of Differential Equations.*(2007)
- [7] Dronne, M.A. ; Boissel, J.P. ; Grenier, E. A mathematical model of ion movements in grey matter during a stroke. *J Theor Biol.* 2005 Dec 17.
- [8] Dronne, M.A. ; Boissel, J.P. ; Grenier, E. ; Gilquin, H. ; Cucherat, M. ; Hommel, M. ; Barbier, E. ; Bricca, G. Mathematical modelling of an ischemic stroke : an integrative approach. *Acta Biotheoretica* 2004, 52, 255-272.
- [9] Duval, V. ; Chabaud, S. ; Girard, P. ; Cucherat, M. ; Hommel, M. ; Boissel, J.P. Physiologically based model of acute ischemic stroke. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* 2002, 22, 1010-1018.
- [10] Mies, G. ; Iijima, T. ; Hossman, K.A. Correlation between peri-infarct DC shifts and ischaemic neuronal damage in rat. *Neuroreport*, 1993, 4, 709-711.
- [11] Strong A.J., Fabricius M., Boutelle M.G., Hibbins S.J., Hopwood S.E., Jones R., Parkin M.C. et Lauritzen M., Spreading and synchronous depressions of cortical activity in acutely injured human brain, *Stroke* 2002, 33 (12), 2738-2743.

## 5 Projet Angiogenèse, Grenoble

par Philippe Tracqui (Philippe.Tracqui@imag.fr)  
Angelique Stephanou (Angelique.Stephanou@imag.fr)  
Jacques Ohayon (Jacques.Ohayon@imag.fr)  
Equipe(s) DynaCell, <http://www-timc.imag.fr/dynacell>

L’angiogenèse, définie comme la formation de nouveaux capillaires sanguins à partir de vaisseaux existants, joue un rôle crucial dans de nombreux processus, aussi bien physiologiques (cicatrisation, embryogénèse, ...) que pathologiques (croissance tumorale, développement de plaques d’athérome, ...). Dans ce cadre général, notre équipe développe différents axes de recherches, théoriques et expérimentaux, pour mieux comprendre différents aspects de ce processus multifactoriel. Nous nous intéressons plus spécifiquement :

1. à l’adaptation du réseau de capillaires en fonction des contraintes rhéologiques imposées par le flux sanguin circulant et son implication dans l’acheminement efficace de médicaments anti-cancéreux (resp. A. Stephanou).
2. aux phases initiales de morphogénèse du réseau de capillaires et à la mise en évidence du rôle central des interactions mécaniques entre cellules endothéliales et matrice extracellulaire (resp. P. Tracqui).
3. à l’influence de l’angiogenèse des plaques d’athéromes sur leur vulnérabilité (resp. J. Ohayon).

Ce résumé se focalise sur les deux premiers points pour présenter brièvement les modèles théoriques que nous avons développés, en illustrant leurs propriétés caractéristiques et les principales étapes de leur validation.

### 5.1 Modélisation mathématique de la dynamique de croissance des capillaires sanguins et de la perfusion des traitements chimiothérapeutiques et anti-angiogéniques.

Lorsqu’une tumeur solide se développe, le processus d’angiogenèse se déclenche lorsque la tumeur atteint une taille critique de quelques millimètres, au delà de laquelle elle épuise les ressources en oxygène et nutriments disponibles dans les tissus avoisinants. A ce stade, les cellules tumorales deviennent hypoxiques et se mettent à produire un facteur de croissance angiogénique qui se diffuse dans les tissus jusqu’à sa détection par les cellules endothéliales qui forment la paroi des vaisseaux situés à proximité. Au contact de ce facteur de croissance, les cellules endothéliales se mettent à migrer en direction de la tumeur en formant des tubes,

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

qui s’interconnectent pour former le réseau vasculaire. Ce nouveau réseau permet la dissémination des cellules tumorales qui utilisent cette vascularisation pour s’échapper de la tumeur primaire et aller se fixer sur d’autres tissus ou organes afin de former des métastases.

Le modèle que nous utilisons décrit la formation de ce réseau en se limitant à la partie extra-tumorale (Stéphanou et col. 2006). Les cellules endothéliales ( $n_i$ ) migrent

- aléatoirement par diffusion,
- chimiotactiquement en réponse au gradient de facteur angiogénique ( $c$ ) produit par la tumeur
- haptotactiquement en réponse au gradient de fibronectine ( $f$ ) qui est une protéine de la matrice extracellulaire avec laquelle les cellules endothéliales se lient par l’intermédiaire de récepteurs membranaires spécifiques, pour migrer.

Ces processus sont respectivement caractérisés par les coefficients  $D$ ,  $\chi$  et  $\rho$  (équation 1). Une formulation discrète de cette équation par différences finies centrées de type Euler (équation 2), permet de décrire la migration individuelle de chaque cellule endothéliale sur une grille discrète bi ( $l, m$ ) ou tridimensionnelle ( $l, m, w$ ) de pas fixé  $\nabla x$  pour chaque instant  $t = q\nabla t$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n}{\partial t} = D\nabla^2 n - \nabla \cdot (\chi(c)n\nabla c) - \rho \nabla \cdot (n\nabla f) \\ n_{i,m}^{q+1} = n_{i,m}^q P_0 + n_{i+1,m}^q P_1 + n_{i-1,m}^q P_2 + n_{i,m+1}^q P_3 + n_{i,m-1}^q P_4 \\ \frac{\partial c}{\partial t} = -\eta n_i c \\ \frac{\partial f}{\partial t} = \beta n_i - \gamma m f \\ \frac{\partial m}{\partial t} = \alpha n_i + \epsilon \nabla^2 m - m \end{array} \right.$$

La migration de chaque cellule est ainsi déterminée par les coefficients  $P_i$  ( $i = 0$  à 4 en 2D) qui représentent respectivement les probabilités qu’a la cellule de rester immobile ( $P_0$ ), de se déplacer à gauche ( $P_1$ ), à droite ( $P_2$ ), en haut ( $P_3$ ) en bas ( $P_4$ ) sur la grille. Ces coefficients sont fonctions des concentrations locales en facteur angiogénique ( $c$ ) et en fibronectine ( $f$ ) et dépendent des coefficients  $D$ ,  $\chi$  et  $\rho$ . Les densités locales sont obtenues en résolvant le système d’équation suivant associé à l’équation (1). La troisième équation représente la dégradation du facteur angiogénique ( $c$ ) par la cellule endothéliale ( $n_i$ ) au cours du temps et la quatrième équation représente l’évolution de la densité de fibronectine ( $f$ ) dans le milieu, qui est d’une part produite par les cellules endothéliales lorsqu’elles migrent et d’autre part consommée par une enzyme de dégradation de la matrice extracellulaire ( $m$ ) produite par les cellules endothéliales afin de favoriser leur adhésion à la matrice nécessaire à la migration. La cinquième équation

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

représente l'évolution de la densité de l'enzyme de dégradation de la matrice ( $m$ ) produite par les cellules endothéliales et qui diffuse dans le milieu avant d'être spontanément dégradée. Les coefficients constants  $\eta$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$ ,  $\varepsilon$  et  $v$  caractérisent les taux de production ou de dégradation des processus décrits.

La figure 1 présente les principales étapes de la simulation numérique de la croissance d'un réseau de capillaires. Elle montre en particulier comment la protéine MMP qui dégrade la fibronectine du milieu matricielle est produite par les cellules situées à l'extrémité des capillaires (germes de vaisseaux) et se diffuse localement.

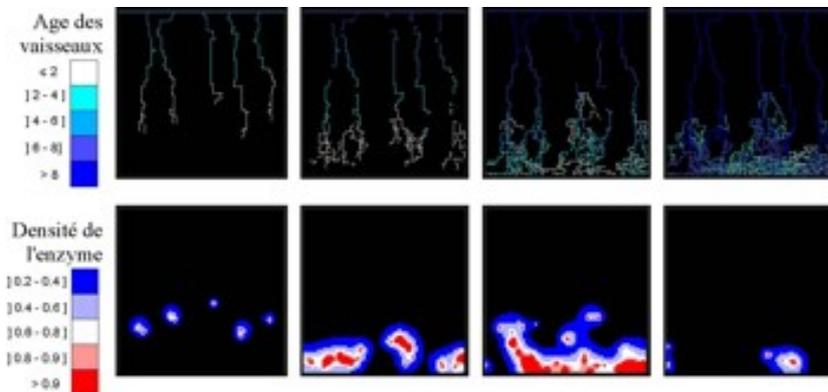


FIG. 2 – Instantanés montrant la croissance du réseau vasculaire (ligne du haut) et la distribution associée de l'enzyme de dégradation de la fibronectine (ligne du bas).

Le traitement par chimiothérapie, qui consiste à injecter des médicaments dans le système vasculaire, est efficace si la dose requise de médicaments parvient à la tumeur. Afin d'évaluer l'efficacité de tels traitements, on simule l'injection d'un traceur (représentant les médicaments) dans le vaisseau parent et on observe sa circulation dans le réseau vasculaire tumoral (2D ou 3D) généré par le modèle mathématique précédemment décrit. Plusieurs régimes d'injection peuvent être testés, injection continue ou injection instantanée. Les simulations ainsi réalisées (Figures suivantes) ont permis de mettre en évidence deux phénomènes potentiellement responsables de l'échec de la thérapie :

- une fraction non négligeable des médicaments injectés (voir la totalité dans certains cas) retournent dans le vaisseau parent sans atteindre la tumeur (effet de contournement),
- la concentration des médicaments atteignant la tumeur est trop faible pour que ceux-ci soient efficaces (effet de dilution) (McDougall et col. 2002, Stéphanou et col. 2005).

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

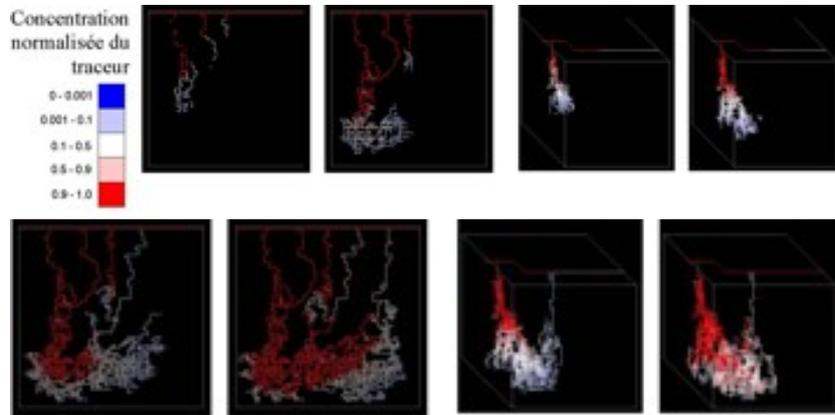


FIG. 3 – Figure du haut : circulation du traceur dans un réseau 2D, figure du bas : circulation du traceur dans un réseau 3D.

Le remodelage du réseau vasculaire et les propriétés rhéologiques du sang sont intimement liés. Le flux sanguin crée des forces et des tensions sur la paroi vasculaire (pression, tension de cisaillement) qui conduisent à l'ajustement dynamique du rayon des micro-vaisseaux (vasodilatation, vasoconstriction, collabage). En retour, la composition locale du sang (hématocrite) dont dépend ses propriétés rhéologiques (viscosité relative) est affectée par les changements morphologiques du réseau. La simulation numérique du remodelage du réseau vasculaire a été effectuée dans un premier temps à partir de réseaux initialement homogènes (rayons vasculaires égaux).

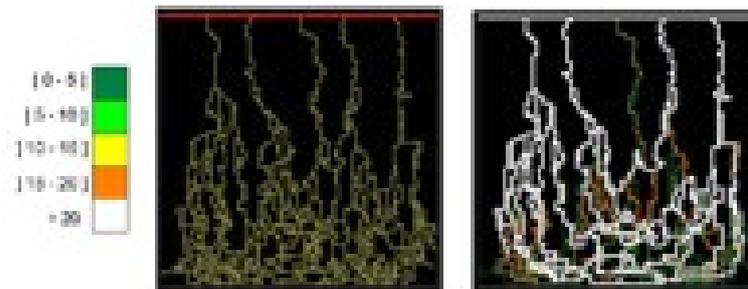


FIG. 4 – Réseau initial homogène (à droite) et réseau après adaptation (à gauche).

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

Les simulations conduisent à une distribution de l'hématocrite qui varie localement d'un vaisseau à l'autre, ce qui produit des variations locales de la viscosité lesquelles induisent les changements de rayons. Ceux-ci se répercutent alors sur l'hématocrite et ainsi de suite. Le processus est itéré jusqu'à l'obtention d'un état d'équilibre. Les réseaux adaptés résultants montrent une hétérogénéité conforme à l'observation expérimentale (Stéphanou et col. 2006).

### 5.2 Modélisation du rôle des facteurs mécaniques dans le contrôle de l'angiogenèse.

L'expérimentation *in vitro* permet d'étudier de façon plus spécifique les facteurs intervenant dans le contrôle de l'angiogenèse. Il est bien admis que l'angiogenèse peut être étudiée de façon pertinente à partir de modèles expérimentaux *in vitro* dans lesquels une monocouche de cellules endothéliales est cultivée sur une matrice extracellulaire. L'approche expérimentale qui a été retenue dans notre équipe est basée sur un modèle utilisant comme matrice extracellulaire un biogel mince de fibrine (épaisseur 1mm) sur lequel des cellules endothéliales normales (HUVEC) ou transformées (lignée EAhy926) sont cultivées. L'acquisition vidéomicroscopique en contraste de phase permet de suivre la formation de dépressions dans le biogel, sous forme de lacunes dépourvues de cellules et dont le nombre et la taille augmentent au cours du temps. La migration des cellules vers la bordure des lacunes et l'étirement mécanique de plus en plus important de celles-ci conduit à formation de tubes cellulaires (pseudo-capillaires) à la jonction de deux lacunes (Stéphanou et col., 2007). Nous avons considéré comme hypothèse de travail que l'initiation de la morphogenèse du réseau capillaires *in vitro* était induite et contrôlée par un ensemble de facteurs mécaniques couplant de façon bi-directionnelle les forces de traction et la migration contrôlée des cellules endothéliales d'une part, les propriétés viscoélastiques du substrat matriciel déformable d'autre part. Les facteurs angiogéniques diffusibles, comme le VEGF, auraient dans ces conditions un rôle de modulateur et non d'initiateur. L'analyse de nos résultats expérimentaux est basée sur la formulation d'un modèle théorique mécano-cellulaire qui considère comme variables la densité cellulaire  $n(x, t)$  en tout point de l'espace et à chaque instant, la densité locale  $\rho(x, t)$  de MEC et le vecteur déplacement en tout point  $u(x, t)$  du milieu composite cellule-MEC, définissant le système d'EDP nonlinéaires suivant (Namy et col., 2004) :

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

$$\begin{cases} \frac{\partial n}{\partial t} + \nabla \left[ -\nabla(Dn) + hn\nabla\rho + n\frac{\partial u}{\partial t} \right] = 0 \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \left[ \rho\frac{\partial u}{\partial t} \right] = 0 \\ \nabla \left[ 2\mu(\epsilon - \beta_1\nabla^2\epsilon) + \lambda(\theta - \beta_2\nabla^2\theta)\mathbf{I} + \mu_1\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \mu_2\frac{\partial \theta}{\partial t}\mathbf{I} + \tau\rho n(N_2 - n)\mathbf{I} \right] = s\frac{u}{\rho} \end{cases}$$

Ce système d’EDP est résolu sur le domaine  $\Omega = [0, 1] \times [0, 1]$  avec les conditions aux limites :  $u = 0, \nabla \cdot \varepsilon \cdot n = 0, \nabla n \cdot n = 0, \nabla \rho \cdot n = 0$  sur  $\partial\Omega$  et les conditions initiales  $(n, \rho, u) = (n_0, \rho_0, 0)$ .

Le second terme de la première équation correspond à la divergence des différents flux de transport des cellules. La conservation de la densité cellulaire dépend ici des effets conjoints de la diffusion (paramètre  $D$ ), de la migration induite par un gradient de MEC (haptotaxie, paramètre  $h$ ) et de la convection induite par les déformations mécaniques de la MEC. Prolifération et mort cellulaires sont négligeables dans nos conditions expérimentales. La deuxième équation traduit la conservation de la MEC. La troisième équation est l’équation d’équilibre mécanique obtenue en considérant pour la MEC un comportement visco-élastique linéaire décrit par la superposition de contraintes élastiques et visqueuses données par la loi de Hooke ( $\varepsilon$ , tenseur des déformations linéarisées,  $\lambda, \mu$ , coefficients de Lamé) et la loi de Newton ( $\partial\varepsilon/\partial t$  tenseur des taux de déformations linéarisées,  $\mu_1, \mu_2$ , coefficients de viscosité). Les effets à longue portée sont introduits au niveau des contraintes élastiques en pondérant celle-ci par le laplacien du tenseur des déformations linéarisées. Les contraintes actives de traction cellulaires sont paramétrées par le tonus cellulaire  $\tau$  et supposées proportionnelles au nombre de cellules et à la densité de MEC présente localement, avec une amplitude limitée par des phénomènes d’inhibition de contact quand la densité cellulaire locale augmente (paramètre  $N_2$ ). L’étude des bifurcations du système linéarisé permet de mettre en évidence l’influence de la rigidité de la MEC sur les solutions asymptotiques (Tracqui, 2006). Une rigidité suffisamment faible conduit à l’apparition d’un pattern cellulaire macroscopique associé à l’apparition de champs de contraintes spécifiques à l’intérieur de la matrice extracellulaire.

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

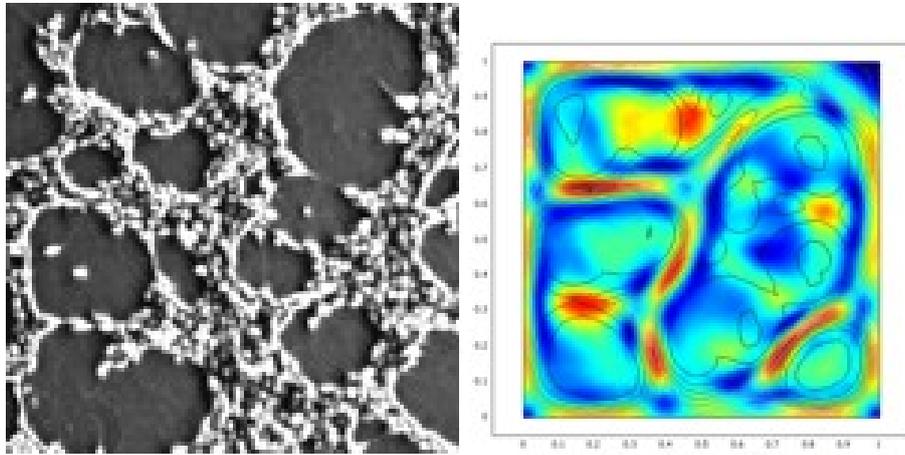


FIG. 5 – Champ des contraintes de Von Mises associé à un réseau simulé de pseudo-capillaires correspondant qualitativement au pattern cellulaire expérimental de gauche.

En référence à l’approche conceptuelle dominante qui attribue un rôle majeur aux facteurs diffusibles dans le contrôle de l’angiogenèse, il nous a paru intéressant d’expliciter le parallèle entre les processus d’auto-organisation biologiques basés sur des systèmes nonlinéaires de réaction-diffusion et ceux issus de couplages mécaniques (Tracqui et col., 2007). Des résultats classiques sur les systèmes de réaction-diffusion s’exprimant hors de leur état d’équilibre thermodynamique montrent que l’apparition de structures hétérogènes spécifiques dans une région de l’espace, appelées structures dissipatives localisées, peut être obtenue en contrôlant le gradient d’un des substrats de la réaction. Ce type d’information positionnelle est illustré par exemple avec un modèle canonique comme le Brusselateur, étendu en considérant un substrat diffusible supplémentaire  $A(x, y, t)$  selon le modèle ci-dessous :

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} = -A + D\nabla^2 A \\ \frac{\partial X}{\partial t} = A - (B + 1)X + X^2Y + D_1\nabla^2 X \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = BX - X^2Y + D_2\nabla^2 Y \end{cases}$$

avec pour la variable  $A$  des conditions aux limites périodiques dans une direction du plan et des conditions de Neumann dans l’autre, complété par des conditions de Dirichlet sur le couple activateur-inhibiteur  $(X, Y)$ . Un exemple typique de solution stationnaire en pics de concentration localisés est donné sur les figures suivantes, qui représentent les profils asymptotiques des variables  $A$  et  $X$ .

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

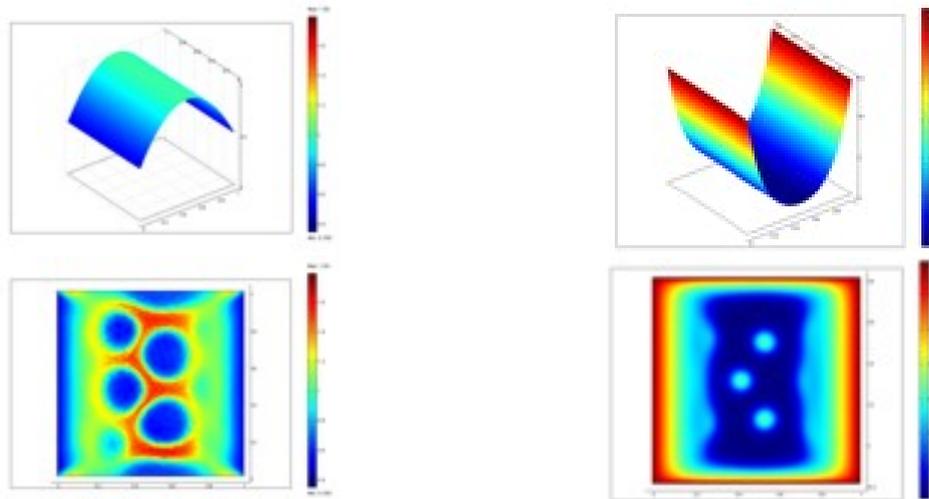


FIG. 6 – Simulations de structures dissipatives localisées à partir d’une information positionnelle “codée” par la concentration locale d’une substance diffusible ( $B, D$ ) ou par l’épaisseur locale d’une matrice extracellulaire ( $A, C$ ).

De façon intéressante, des structures localisées analogues peuvent être obtenues si l’information positionnelle est donnée par la géométrie du substrat déformable, par exemple sa variation d’épaisseur. Ces considérations ne sont pas seulement théoriques. En effet, nous avons pu montrer expérimentalement, en réalisant des modèles d’angiogenèse in vitro sur des gels de fibrine présentant un gradient d’épaisseur, que l’induction de la morphogénèse de réseaux de pseudo-capillaires est possible uniquement dans les domaines où le biogel a une épaisseur suffisante. L’expression d’une instabilité structurelle dans ces conditions est tout à fait en accord avec les prédictions théoriques du modèle mécano-cellulaire.

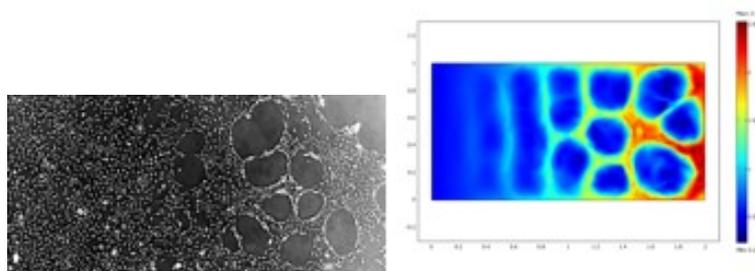


FIG. 7 – Morphogénèse expérimentale et théorique de structures lacunaires après dépôt de cellules endothéliales (EAhy926) sur une matrice déformable (gel de

## MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

fibrine) présentant un gradient d'épaisseur linéairement croissante de la gauche vers la droite des figures.

### 5.3 Conclusions

Le modèle de réseau d'angiogenèse donne la possibilité de tester dynamiquement l'effet des médicaments anti-angiogéniques (détruisant les vaisseaux non matures). Il est ainsi possible par ce type de traitement d'agir sur le degré de connectivité du réseau en croissance et permet selon les cas

- de détruire le réseau, privant ainsi l'approvisionnement de la tumeur en oxygène et nutriments, ce qui conduit par conséquent à la neutralisation de la croissance tumorale,
- à défaut, d'optimiser la connectivité du réseau afin d'assurer le succès de la chimiothérapie (délivrance de médicaments cytotoxiques à la tumeur). Le couplage des thérapies antiangiogéniques et chimiothérapiques peut ainsi être testé et optimisé pour chaque réseau vasculaire donné (Stéphanou et col. 2006).

Les résultats obtenus à partir des expériences *in vitro* ont permis de mettre en évidence l'importance des facteurs mécaniques et géométriques. En particulier l'émergence localisée d'un réseau de cordons cellulaires sous l'effet d'une information positionnelle donnée par la géométrie de la matrice extracellulaire a été mise en évidence sur des gels de fibrine présentant un gradient d'épaisseur. Ce travail a également des implications pour la compréhension des processus de mécano-transduction au cours de l'angiogenèse, puisque le modèle théorique macroscopique développé permet de visualiser et de prédire l'évolution des champs de contraintes et de déformation au cours de la morphogénèse du réseau de pseudo-capillaires.

### Références

- [1] Namy, P. and Ohayon, J. and Tracqui, P. *Critical conditions for pattern formation and in vitro tubulogenesis driven by cellular traction fields*. J. Theor. Biol., 2004.
- [2] Tracqui, P. and Namy, P. and Ohayon J. *Cellular networks morphogenesis induced by mechanically stressed microenvironments*. J. Biol. Phys. Chem., 2005.
- [3] Stéphanou, A. and McDougall, S.R. and Anderson, A.R.A and Chaplain, M.A.J *Mathematical modelling of flow in 2D and 3D vascular networks : applications to antiangiogenic and chemotherapeutic drug strategies*. Mathematical and Computer Modelling, 2005.
- [4] Stéphanou, A. and McDougall, S.R. and Anderson, A.R.A and Chaplain, M.A.J *Mathematical modelling of the influence of blood rheological properties upon*

MODÉLISATION EN MATHÉMATIQUE, EN BIOLOGIE ET EN MÉDECINE

---

*adaptive tumour-induced angiogenesis*. Mathematical and Computer Modeling, 2006.

- [5] Tracqui, P. *Mechanical instabilities as a central issue for in silico analysis of cell dynamics*. Proceedings IEEE, 2006.
- [6] Stéphanou, A. and Meskaoui, G. and Vailhe, B. and Tracqui, P. *The rigidity in fibrin gels as a contributing factor to the dynamics of in vitro vascular cord formation*. Microvasc. Res, 2007.
- [7] Tracqui, P. and Namy, P. and Ohayon, J. *In vitro tubulogenesis of endothelial cells : analysis of a bifurcation process controlled by a mechanical switch*. Mathematical Modeling of Biological Systems, Volume I. A. Deutsch, L. Brusch, H. Byrne, G. de Vries and H.-P. Herzel (eds). Birkhauser, 2007.

## 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

**Emmanuel CREUSE**

#### **Simulation et contrôle actif d'écoulements - Estimations d'erreurs a posteriori pour les méthodes d'éléments finis**

*Soutenue le 29 Novembre 2007*

*Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis*

La première partie de cette habilitation expose plusieurs contributions portant sur la simulation numérique et le contrôle de divers types d'écoulements visqueux. Une condition aux limites artificielle de sortie d'écoulement faiblement compressible est proposée, puis un schéma hybride volumes finis/éléments finis est mis en place pour la simulation d'un fluide incompressible à densité variable. Un contrôle actif est mis en oeuvre sur plusieurs configurations d'écoulements, grâce à l'utilisation de jets pulsés et de différents procédés en boucle ouverte ou en boucle fermée. On aboutit alors à des résultats qualitativement remarquables et quantitativement mesurables, comme l'augmentation d'un effort de poussée ou la diminution d'un coefficient de traînée. La seconde partie de cette habilitation est consacrée aux estimations d'erreurs a posteriori pour les méthodes d'éléments finis. Elle rappelle d'abord le cadre et les outils usuels utilisés pour l'obtention d'estimateurs a posteriori explicites résiduels, puis développe des estimateurs de ce type pour plusieurs équations, types d'approximations, méthodes de discrétisation et caractéristiques de maillages. Chacune de ces contributions est illustrée par des tests numériques mettant en évidence le caractère fiable et efficace des estimateurs ainsi obtenus.

**Didier HENRION**

**Polynômes et optimisation convexe en commande robuste**

*Soutenue le 12 décembre 2007 à l'Université de Toulouse*

A l'aide de quelques exemples illustratifs, des pistes sont évoquées pour combiner les méthodes polynomiales (algèbre, géométrie algébrique) et l'optimisation convexe (inégalités matricielles linéaires, LMI) dans le but de développer des outils numériques de résolution de problèmes basiques en automatique, et en particulier pour la commande robuste des systèmes linéaires.

**Pascal AZERAD**

**Contributions à l'étude de quelques équations aux dérivées partielles, en mécanique des fluides et en génie côtier**

*Soutenue le 19 décembre 2007 à l'Université de Montpellier II*

Les travaux présentés dans cette habilitation se classent en trois thèmes :

- 1) Analyse asymptotique des équations de Navier-Stokes,
  - 2) Optimisation de forme d'ouvrages de lutte contre l'érosion du littoral,
  - 3) Étude d'équations aux dérivées partielles comportant des termes non-locaux.
- Dans le thème 1, nous développons la justification mathématique de l'approximation hydrostatique pour les fluides géophysiques à faible quotient d'aspect, hypothèse couramment vérifiée en océanographie et en météorologie. C'est un problème de perturbation singulière. Nous présentons également l'étude théorique et numérique de l'écoulement cône-plan, utilisé en hématologie-hémostase pour le sang de patients. Il s'agit d'un problème de couche limite singulière.
- Le thème 2 concerne le génie côtier. Les ouvrages utilisés tels que épis, brise-lames, enrochements sont de forme trop rudimentaire. Leur efficacité peut être améliorée significativement si leur forme est optimisée pour réduire l'énergie dissipée par la houle dans la zone proche-littorale. Nous optimisons aussi la forme de géotextiles immergés. Ce travail, réalisé dans le cadre de la thèse de Damien Isèbe, a reçu le soutien de l'ANR (projet COPTER) et s'effectue en partenariat avec le laboratoire Géosciences Montpellier et Bas-Rhône-Languedoc ingénierie (Nîmes). Dans le thème 3, nous prouvons existence, unicité et régularité de solutions pour l'équation de la chaleur fractionnaire, perturbée par un bruit blanc. C'est une équation aux dérivées partielles stochastique. Nous prouvons enfin un

## RÉSUMÉS DE THÈSES

résultat d’existence, unicité et stabilité pour une loi de conservation non linéaire, comportant un terme non local, qui modélise l’évolution d’un profil de dune immergée. L’intérêt mathématique est que l’équation ne vérifie pas le principe du maximum mais possède néanmoins un effet régularisant.

**Jérôme MONNIER**

### **Modèles numériques directs et inverses d’écoulements de fluides.**

*Soutenue le 22 novembre 2007, Laboratoire Jean Kuntzmann et Institut Polytechnique de Grenoble*

Ce mémoire d’Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) retrace dix années de recherche en tant que maître de conférences, autour de modèles d’EDP appliqués à des écoulements de fluides. On y trouve aussi bien des aspects analyse mathématique, qu’analyse numérique, algorithmique ou encore calcul et mise en œuvre informatique. Les principaux modèles d’EDP abordés sont les équations de Navier-Stokes ou Stokes surface libre (micro-fluidique, glaciologie), les équations de St-Venant ou asymptotique “shallow” (hydraulique fluviale, glaciologie). L’orientation de ces études vers les thématiques applicatives a conduit à élaborer des modèles numériques potentiellement applicables aux problèmes réels posés. Ainsi, les aspects calibration de modèles, optimisation, identification, analyse de sensibilité et assimilation de données (via le contrôle optimal) y sont largement représentés. En termes de réalisation de logiciels prototypes, sont présentés un code d’hydraulique fluviale (inondations) dédié à l’analyse de sensibilité, l’assimilation variationnelle de données et le couplage, un code surface libre d’impact de gouttelettes (2D axisymétrique ALE) et un code d’optimisation de forme appliqué à l’électro-capillarité. Le premier chapitre présente des analyses mathématiques et analyse de schémas éléments finis basées sur des troncatures. Un second chapitre décrit un cadre mathématique et algorithmique pour l’optimisation de forme, avec applications à un modèle Navier-Stokes - thermique radiative et à une gouttelette électriée (électro-capillarité). Un troisième chapitre traite de la modélisation numérique de la dynamique d’une gouttelette sur un substrat solide. La dynamique de la ligne triple y est décrite à l’aide du modèle de Shikhmurzaev. Dans un quatrième chapitre sont présentés plusieurs travaux autour d’écoulements fluviaux et zones d’inondations (St-Venant 1.5D-2D, schémas volumes finis). Les processus de calibrage de modèles, de couplage et d’assimilation variationnelle de données constituent une grande part des travaux. Des applications à des écoulements réels avec données non standards (trajectoires lagrangiennes, image satellite) démontrent la potentialité des méthodes développées.

Le dernier chapitre traite des travaux récemment initiés et tout particulièrement ceux relatifs aux calottes polaires (Stokes non-Newtonien et équations asymptotiques). Parmi les difficultés mathématiques soulevées figurent la réduction de modèles (asymptotique, réduction d'ordre), le couplage, la sensibilité des modèles aux erreurs et aux paramètres, et enfin l'assimilation de données et le calibrage.

**Laurent LÉVI**

**Contribution à l'analyse de problèmes d'obstacle pour une classe de lois de conservation scalaires quasi linéaires**

*Soutenue le 22 Juin 2007*

*Université de Pau et des Pays de l'Adour*

Ce travail regroupe un ensemble de résultats concernant essentiellement l'analyse mathématique de problèmes d'obstacles intérieurs pour une classe d'opérateurs quasi linéaires hyperboliques du premier ordre ou paraboliques du second ordre. Dans un premier chapitre on s'intéresse aux problèmes d'obstacles pour des opérateurs du premier ordre. On donne un résultat général d'unicité et des résultats d'existence (par pénalisation) dans le cas d'obstacle constants ou dépendant des variables de temps et d'espace et selon la régularité des données. Puis on établit des propriétés de sensibilité et de comportement par rapport à la condition d'obstacle. Enfin on propose une approximation numérique de la solution par une méthode de Time-Splitting. Au second chapitre on considère les problèmes d'obstacles pour des opérateurs du second ordre faiblement ou fortement dégénérés. Dans le premier cas, par utilisation de la méthode de viscosité artificielle et celle de pénalisation on prouve l'existence puis l'unicité d'une solution faible caractérisée par une inéquation variationnelle. Dans le second cas, la solution faible est caractérisée par une formulation d'entropique. Dans le troisième chapitre on expose de nouvelles thématiques de recherche, principalement le problème du couplage hyperbolique/parabolique avec raccord le long d'une interface commune. On donne une formulation faible à l'aide d'une inégalité d'entropie dans tout le domaine d'étude. On établit un résultat d'unicité dans le cas où l'interface est incluse dans le lieu des caractéristiques sortantes pour l'opérateur hyperbolique. L'existence est obtenue par ajout d'un terme de viscosité sur la zone d'hyperbolicité.

THÈSES DE DOCTORAT D’UNIVERSITÉ

**Nicolas FORCADEL**

Directeur de thèse : Régis Monneau (ENPC)

**Contribution à l’analyse d’équations aux dérivées partielles décrivant le mouvement de fronts avec applications à la dynamique des dislocations.**

*Soutenue le 2 juillet 2007 à l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*

Ce travail porte sur la modélisation, l’analyse et l’analyse numérique de la dynamique des dislocations ainsi que sur les liens très forts qui existent avec les mouvements de type mouvement par courbure moyenne. Les dislocations sont des défauts linéaires qui se déplacent dans les cristaux lorsque ceux-ci sont soumis à des contraintes extérieures. D’une manière générale, la dynamique d’une ligne de dislocation est décrite par une équation eikonale où la vitesse dépend de manière non locale de l’ensemble de la ligne. Il est également possible d’ajouter un terme de courbure moyenne dans la modélisation. La première partie de ce mémoire est consacrée aux propriétés qualitatives de la dynamique d’une ligne de dislocation (existence, unicité, comportement asymptotique...). Cette étude repose en grande partie sur la théorie des solutions de viscosité. On propose également plusieurs schémas numériques pour cette dynamique et on montre leur convergence ainsi que des estimations d’erreurs entre la solution et son approximation numérique. Dans une seconde partie nous faisons le lien entre la dynamique d’un nombre fini de dislocations et la dynamique de densité de dislocations en montrant des résultats d’homogénéisation. Nous étudions également, de manière théorique et numérique, un modèle pour la dynamique de densité de dislocations.

**Marc HONNORAT**

Directeurs de thèse : Francois-Xavier Le Dimet (UJF) et Jérôme Monnier (INPG)

**Assimilation de données Lagrangiennes pour la simulation numérique en hydraulique fluviale**

*Soutenue le 3 octobre 2007 à l’Institut Polytechnique de Grenoble*

Ce travail porte sur l’assimilation variationnelle de données lagrangiennes en hydraulique fluviale, pour l’identification de paramètres dans un modèle numérique de rivière basé sur les équations de Saint-Venant, mise en oeuvre dans le logiciel Dassflow. Nous proposons de prendre en compte des observations de nature Lagrangienne, comme des trajectoires de particules transportées à la surface

de l'écoulement, en plus des observations classiquement disponibles, parfois insuffisantes. L'intérêt de cette approche pour améliorer l'identification de certains paramètres est mis en évidence à travers une série d'expériences numériques utilisant soit des données synthétiques, soit des données réelles issues d'un écoulement en canal, où des trajectoires sont extraites d'une séquence vidéo.

**Anne BILGOT**

Directeurs de thèse : Laurent Desbat (UJF) et Valérie Perrier (INPG)

**Méthodes locales d'identification de surfaces de discontinuité à partir de projections tronquées pour l'imagerie interventionnelle**

*Soutenue le 11 octobre 2007 à l'Univ. Joseph Fourier de Grenoble*

Ce mémoire présente des algorithmes de reconstruction conçus pour le développement de nouveaux systèmes d'imagerie par rayons X adaptés aux contraintes du bloc opératoire, notamment pour guider des interventions orthopédiques telles que le vissage pédiculaire. Après une présentation du contexte médical et technologique, nous rassemblons les principaux résultats de tomographie 2D permettant de comprendre les spécificités des problèmes de tomographie à données tronquées ; le comportement souvent très satisfaisant de la méthode de rétroprojection filtrée, d'ordinaire ignoré en tomographie locale, est notamment souligné. Un état de l'art sur l'utilisation des ondelettes en tomographie 2D est ensuite dressé, dans lequel nous mettons en évidence l'existence de liens forts entre des travaux adaptés de la méthode de rétroprojection filtrée et les approches de type ondelettes-vaguelettes. Une nouvelle méthode d'inversion de la transformée de Radon par ondelettes est ensuite proposée, bâtie à partir de résultats théoriques établis par M. Holschneider : nous montrons que cette nouvelle méthode se prête très bien au traitement de données locales (aussi bien pour le problème intérieur que pour le problème à angle limité). Nous présentons enfin une approche totalement différente, dans laquelle est reconstruite la surface d'une vertèbre à partir de deux images fluoroscopiques et d'un modèle statistique de surface de vertèbre ; nous utilisons différents détecteurs de contours pour traiter les images fluoroscopiques (par ondelettes, ou avec des contours actifs), et montrons qu'ils conduisent à des résultats de reconstruction satisfaisants sur un fantôme numérique.

**Juliette BLANCHET**

Directrices de thèse : Cordelia Schmid et Florence Forbes (INRIA)

**Modèles markoviens et extensions pour la classification de données complexes**

*Soutenue le 10 octobre 2007 à l’Univ. Joseph Fourier de Grenoble*

Nous abordons le problème de la classification d’individus non indépendants les uns des autres à partir d’observations complexes. L’approche adoptée est une approche probabiliste fondée sur une modélisation markovienne. Trois sources possibles de complexité des données sont abordées : la grande dimension des observations, l’absence d’une partie de ces observations et enfin la nature même du bruit sous-jacent, que nous considérons plus général que dans le modèle classique de bruit indépendant. Pour la classification de données de grande dimension, nous adoptons un modèle markovien gaussien ne nécessitant l’estimation que d’un nombre raisonnable de paramètres. Ce modèle tire parti du fait que la plupart des données de grande dimension vivent en réalité dans des sous-espaces propres à chacune des classes et dont la dimension intrinsèque est faible. Pour relâcher l’hypothèse de bruit indépendant unimodal, et en particulier gaussien, nous considérons le modèle récent de champ de Markov triplet. Nous proposons une nouvelle famille de modèles de Markov triplets adaptés à un cadre supervisé. Nous illustrons nos modèles sur une application à la reconnaissance d’image de textures. Enfin, pour la classification d’observations incomplètes, nous développons une méthode markovienne ne nécessitant pas le remplacement préalable des valeurs manquantes. Nous présentons une application de cette méthodologie à un problème réel de classification de gènes.

**Marc FUENTES**

Directeur de thèse : Jean-Baptiste Hiriart-Urruty

**Analyse et optimisation de problèmes sous contraintes d’autocorrélation**

*Soutenue le 29 octobre 2007 à l’Univ. Paul Sabatier de Toulouse*

Dans ce travail de thèse, nous étudions, dans un contexte d’analyse convexe et d’optimisation, la prise en compte des contraintes dites d’autocorrélation, c’est-à-dire : nous considérons les situations où les vecteurs représentant les variables à optimiser sont contraints à être les coefficients d’autocorrélation d’un signal discret à support fini. Cet ensemble des vecteurs à composantes autocorrélées se

trouve être un cône convexe ; nous essayons d’en établir le plus de propriétés possibles : concernant sa frontière (lisse/polyédrale), ses faces, l’acuité, l’expression du cône polaire, l’évaluation du cône normal en un point, etc... Ensuite, nous étudions divers algorithmes pour résoudre des problèmes d’optimisation où le cône des vecteurs à composantes autocorrélées entre en jeu. Notre principal objet d’étude est le problème de la projection sur ce cône, dont nous proposons la résolution par trois algorithmes différents : algorithmes dits de suivi de chemin, celui des projections alternées, et *via* une relaxation non-convexe. Enfin, nous abordons la généralisation de la situation d’autocorrélation au cas de signaux bi-dimensionnels, avec toute la complexité que cela engendre : multiples définitions possibles, non-convexité des problèmes résultants, et complexité calculatoire accrue pour les algorithmes.

**Charles-Edmond BICHOT**

Directeurs de thèse : Joseph Noailles (ENSEEIH) et Nicolas Durand (DSNA).

**Elaboration d’une nouvelle métaheuristique pour le partitionnement de graphe : la méthode de fusion-fission. Application au découpage de l’espace aérien**

*Soutenue le 9 novembre 2007  
Institut National Polytechnique de Toulouse*

Dans cette thèse, nous étudions des méthodes de partitionnement de graphe et les appliquons au découpage de l’espace aérien, ainsi qu’à d’autres problèmes. L’espace aérien est composé de volumes limités, appelés secteurs de contrôle, chacun étant sous la responsabilité d’un contrôleur. Chaque contrôleur est habilité sur un ensemble de secteurs, appelé zone de qualification. Les secteurs sont également regroupés en centres de contrôle, qui englobent au moins une zone de qualification. Dans le cadre du ciel unique européen, la Commission européenne a prévu la création de blocs fonctionnels d’espace aérien. La création de ces blocs entre pays européens entraînera probablement un redécoupage des centres actuels. Cette thèse propose des outils d’aide à la conception d’un nouveau découpage de l’espace européen en centres et en zones de qualification. A cet effet, plusieurs méthodes sont étudiées : des méthodes de partitionnement classiques, comme l’expansion de région, le multi-niveaux ou les algorithmes de type Kernighan-Lin ; des métaheuristicques, comme le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis et les algorithmes évolutionnaires ; et une nouvelle méthode que nous avons mise au point, la fusion-fission. C’est cette dernière qui permet de trouver

## RÉSUMÉS DE THÈSES

---

les découpages les plus performants, au sens de la fonction de coût utilisée, pour le découpage de l'espace aérien. Afin de diversifier ses applications, nous l'avons aussi adaptée à la segmentation d'images et à la classification de documents. Enfin, la qualité de cette méthode a été éprouvée sur les bancs de tests classiques du partitionnement de graphe et confrontée aux méthodes concurrentes. Elle a permis de trouver pour plusieurs problèmes de test, des partitions dont le coût est le plus bas obtenu jusqu'à présent.

### **Vincent BOMPART**

Directeurs de thèse : Pierre Apkarian (ONERA) et Dominikus Noll (Univ. Paul Sabatier de Toulouse).

### **Optimisation non lisse pour la commande des systèmes de l'aéronautique**

*Soutenue le 23 novembre 2007*

*Université Paul Sabatier de Toulouse*

Les techniques modernes de synthèse pour la commande en boucle fermée des systèmes dynamiques linéaires reposent sur la résolution d'équations matricielles (Lyapunov, Riccati) ou de problèmes d'optimisation sous contraintes d'inégalités matricielles (LMI, BMI). La mise en oeuvre de ces techniques est rendue difficile, voire impossible, par la présence de variables auxiliaires (dites variables de Lyapunov), dont le nombre croît avec le carré de l'ordre du système à commander. En outre, elles sont difficilement exploitables lorsque la loi de commande recherchée est statique ou d'ordre réduit, ou encore lorsqu'une structure particulière est imposée au correcteur, autant de contraintes pourtant fréquentes dans les applications. Afin de résoudre efficacement de tels problèmes, la démarche originale adoptée dans cette thèse consiste à les formuler dans le cadre théorique et général de la programmation non linéaire, non convexe, et plus spécifiquement ici, non lisse. Les problèmes de stabilisation, de synthèse H-infini, ou de satisfaction de contraintes temporelles se posent naturellement avec ce formalisme et sont étudiés dans la thèse. Une première approche exploitant la description exhaustive du sous-différentiel de Clarke est présentée, puis mise en oeuvre pour chacun de ces trois problèmes. L'accent est porté sur son efficacité numérique et sa flexibilité, à travers un large choix d'applications en synthèse structurée ou d'ordre fixé. Une seconde approche, développée spécifiquement pour la synthèse H-infini, s'appuie sur une reformulation locale lisse du problème, résolue par programmation quadratique successive (SQP). Sa convergence plus rapide est illustrée sur des problèmes de commande par retour de sortie statique.

**Damien ISEBE**

Directeurs de thèse : Bijan Mohammadi (Université de Montpellier II) et Pascal Azerad (Université de Montpellier II).

**Modélisation, simulation numérique et optimisation en génie côtier**

*Soutenue le 28 novembre 2007 à l'Université de Montpellier II*

Cette thèse porte sur l'étude de phénomènes hydrodynamiques, relatifs au génie côtier, du point de vue de l'optimisation de formes. Deux axes distincts peuvent néanmoins être mentionnés. D'un côté, nous nous intéressons à l'optimisation d'ouvrages de défense pour la protection de ports ou de plages. Nous appliquons des techniques d'optimisation de formes, généralement utilisées en aéronautique, pour la conception d'ouvrages en mer afin de réduire des phénomènes responsables du processus d'érosion. En particulier, une étude sur la protection du Lido de Sète (Mer Méditerranée, France) a été réalisée en collaboration avec le bureau d'étude BRL Ingénierie. Ensuite, nous nous intéressons à un modèle d'évolution de dunes en régime fluvial. Nous étudions théoriquement ce modèle non-local et nous démontrons l'existence et l'unicité de solutions en temps long. Cette étude est un premier pas vers l'étude de modèles morphodynamiques pour l'évolution du fond marin. Des premiers résultats numériques sont également présentés, confortant les résultats théoriques obtenus.

**Sarah DHONDT-COCHEZ**

Directeur de thèse : Serge Nicaise (Univ. de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis).

**Méthodes d'éléments finis et estimations d'erreur a posteriori**

*Soutenue le 30 novembre 2007*

*Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis*

Dans cette thèse, on développe des estimateurs d'erreur a posteriori, pour l'approximation par éléments finis des équations de Maxwell en régime harmonique et des équations de réaction-diffusion. Introduisant d'abord, pour le système de Maxwell, des estimateurs de type résiduel, on étudie la dépendance des constantes intervenant dans les bornes inférieures et supérieures en fonction de la variation des coefficients de l'équation, en les considérant d'abord constants puis constants par morceaux. On construit ensuite un autre type d'estimateur, basé sur des flux équilibrés et la résolution de problèmes locaux, que l'on étudie dans le cadre des

## RÉSUMÉS DE THÈSES

équations de réaction-diffusion et du système de Maxwell. Ayant introduit plusieurs estimateurs pour l'équation de Maxwell, on en propose une étude comparative, au travers de tests numériques présentant le comportement de ces estimateurs pour des solutions particulières sur des maillages uniformes ainsi que les maillages obtenus par des procédures de raffinement de maillages adaptatifs. Enfin, dans le cadre des équations de diffusion, on étend la construction des estimateurs équilibrés aux méthodes éléments finis de type Galerkin discontinues.

**David MANCEAU**

Directeur de thèse : Marc Briane (INSA Rennes).

### **Quelques problèmes d'homogénéisation à faible et fort contraste.**

*Soutenue le 6 décembre 2007 à l'Université de Rennes I*

Dans cette thèse, on étudie l'homogénéisation de problèmes de conduction et d'élasticité linéarisée en dimension 2 et 3. En dimension 2, on traite d'une part de l'homogénéisation de l'effet Hall considéré comme un problème à faible contraste. On établit d'autre part des résultats de compacité et de dualité pour des suites de conductivités non nécessairement symétriques et non uniformément bornées soit inférieurement, soit supérieurement ; ce qui correspond à des problèmes à fort contraste. En dimension 3, on s'intéresse à des structures fibrées non périodiques. D'une part, en s'appuyant sur l'homogénéisation à faible contraste de Tartar, on obtient des modèles homogénéisés en conduction et en élasticité isotrope. De plus, on étend le résultat de Tartar à l'élasticité anisotrope, ce qui permet d'obtenir un modèle simple. D'autre part, en homogénéisation à fort contraste, on obtient un modèle correspondant aux cas où le milieu extérieur est faiblement conducteur.

**Ahmad EL HAJJ**

Directeurs de thèse : Marco Cannone (Univ. de Marne-La-Vallée) et Régis Monneau (ENPC).

### **Analyses théorique et numérique de la dynamique des densités de dislocations.**

*Soutenue le 7 décembre 2007 à l'Université de Marne-La-Vallée*

Ce travail porte sur l'analyse théorique et numérique de la dynamique des densités de dislocations. Les dislocations sont des défauts qui se déplacent dans les cristaux, lorsque ceux-ci sont soumis à des contraintes extérieures. D'une façon générale, la dynamique des densités de dislocations est décrite par un système

d'équations de transport, où les champs de vitesse dépendent de manière non-locale des densités de dislocations.

Dans une première partie, nous nous plaçons dans un cadre unidimensionnel. Nous démontrons pour un système  $2 \times 2$  simplifié des résultats d'existence globale et d'unicité de solution, ainsi qu'une estimation d'erreur entre la solution continue et son approximation numérique en utilisant un schéma aux différences finies. Puis, en se basant sur une nouvelle méthode d'estimation de l'entropie du gradient, nous démontrons un résultat d'existence globale et quelques résultats d'unicité pour des systèmes hyperboliques diagonalisables en dimension 1.

Dans une seconde partie, nous nous intéressons à un cadre plus général de la dynamique des densités de dislocations où nous étudions un modèle bidimensionnel. Ce modèle a été introduit par Groma et Balogh. Nous démontrons dans ce cadre un résultat d'existence globale en mettant en œuvre l'estimation sur l'entropie du gradient des solutions. Des simulations numériques de ce modèle sont aussi présentées.

**Mathieu ROSENBAUM**

Directeur de thèse : Marc Hoffmann (Univ. Paris-Est Marne-La-Vallée).

**Etude de quelques problèmes d'estimation statistique en finance**

*Soutenue le 7 décembre 2007*

*Université Paris-Est Marne-La-Vallée*

Cette thèse traite plusieurs problèmes de finance statistique et se compose de quatre parties. Dans la première partie, on étudie la question de l'estimation de la persistance de la volatilité à partir d'observations discrètes d'un modèle de diffusion sur un intervalle  $[0, T]$ , où  $T$  est un temps objectif fixé. Pour cela, on introduit un mouvement brownien fractionnaire d'indice de Hurst  $H$  dans la dynamique de la volatilité. On construit une procédure d'estimation du paramètre  $H$  à partir des données haute fréquence de la diffusion. On montre que la précision de notre estimateur est  $n^{-1/(4H+2)}$ , où  $n$  est la fréquence d'observation et on prouve son optimalité au sens minimax. Ces considérations théoriques sont suivies d'une étude numérique sur données simulées et données financières. La seconde partie de la thèse traite de la problématique du bruit de microstructure. Pour cela, on considère les observations à la fréquence  $n$  et avec erreur d'arrondi  $\alpha_n$  tendant vers zéro, d'un modèle de diffusion sur un intervalle  $[0, T]$ , où  $T$  est un temps objectif fixé. On propose dans ce cadre des estimateurs de la volatilité intégrée de l'actif dont on montre que la précision est  $\max(\alpha_n, n^{-1/2})$ . On obtient par ailleurs des théorèmes centraux limites dans le cas de diffusions homogènes. Cette étude

## RÉSUMÉS DE THÈSES

théorique est ici aussi suivie d’une étude numérique sur données simulées et données financières. On établit dans la troisième partie de cette thèse une caractérisation simple des espaces de Besov et on l’utilise pour démontrer de nouvelles propriétés de régularité pour certains processus stochastiques. Cette partie peut paraître déconnectée des problèmes de finance statistique mais a été inspiratrice pour la partie 4 de la thèse. On construit dans la dernière partie de la thèse un nouvel indice de bruit de microstructure et on l’étudie sur des données financières. Cet indice, dont le calcul se base sur les  $p$ -variations de l’actif considéré à différentes échelles de temps, peut être interprété en terme d’espaces de Besov. Comparé aux autres indices, il semble posséder plusieurs avantages. En particulier, il permet de mettre en évidence des phénomènes originaux comme une certaine forme de régularité additionnelle dans les échelles les plus fines. On montre que ces phénomènes peuvent être partiellement reproduits par des modèles de bruit de microstructure additif ou de diffusion avec erreur d’arrondi. Néanmoins, une reproduction fidèle semble nécessiter soit une combinaison de deux formes d’erreur, soit une forme sophistiquée d’erreur d’arrondi.

### **Samy GALLEGO**

Directeurs de thèse : Pierre Degond (Université de Toulouse) et Florian Méhats (Université de Rennes I).

### **Modélisation Mathématique et Simulation Numérique de Systèmes Fluides Quantiques**

*Soutenue le 12 décembre 2007 à l’Univ. Paul Sabatier de Toulouse*

Le sujet de la thèse porte sur l’étude d’une nouvelle classe de modèles de transport quantique : les modèles fluides quantiques issus du principe de minimisation d’entropie. Ces modèles ont été dérivés dans deux articles publiés en 2003 et 2005 par Degond, Méhats et Ringhofer dans *Journal of Statistical Physics* en adaptant au cadre de la théorie quantique la méthode des moments développée par Levermore dans le cadre classique. Cette méthode consiste à prendre les moments de l’équation de Liouville quantique et à fermer ce système par un équilibre local (ou Maxwellienne quantique) défini comme minimiseur d’une certaine entropie quantique sous contrainte de conservation de certaines quantités physiques comme la masse, le courant, et l’énergie. Le principal intérêt des modèles quantiques ainsi obtenus provient du fait qu’étant macroscopiques, ils sont bien moins coûteux numériquement que des modèles microscopiques comme l’équation de Schrödinger ou l’équation de Wigner, et de plus, ils prennent en compte implicitement des effets de collision bien plus difficiles à modéliser à un

## RÉSUMÉS DE THÈSES

niveau microscopique. Le but de cette thèse est donc de proposer des méthodes numériques pour implémenter ces modèles et de les tester sur des dispositifs physiques adéquats. Nous avons donc commencé par proposer une discrétisation du plus simple de ces modèles qu'est le modèle de Dérive-Diffusion Quantique sur un domaine fermé. Puis nous avons décidé d'appliquer ce modèle au transport d'électrons dans les semiconducteurs en choisissant comme dispositif ouvert la diode à effet tunnel résonnant. Ensuite nous nous sommes intéressés à l'étude et l'implémentation du modèle d'Euler Quantique Isotherme, avant de s'attaquer aux modèles non isothermes avec l'étude des modèles d'Hydrodynamique Quantique et de Transport d'énergie Quantique. Enfin, on traite un problème un petit peu différent en proposant un schéma asymptotiquement stable dans la limite semi-classique pour l'équation de Schrödinger écrite dans sa formulation fluide : le système de Madelung.

**Diana DOROBANTU**

Directeurs de thèse : Laure Coutin (Université Paris V) et Monique Pontier (Université Toulouse III).

### **Modélisation du risque de défaut en entreprise**

*Soutenue le 14 décembre 2007 à l'Univ. Paul Sabatier de Toulouse*

Motivés par les applications à la finance, nous étudions dans la première partie de la thèse, quelques problèmes d'arrêt optimal de processus à sauts. Nous avons choisi de résoudre un problème particulier d'arrêt optimal dans le cas d'un processus de Lévy quelconque. Sans nous restreindre a priori à une classe particulière de temps d'arrêt, nous proposons une méthode qui démontre que le temps d'arrêt optimal est un temps d'atteinte et qui permet d'obtenir le seuil optimal. Nous nous intéressons également à des problèmes plus généraux de temps d'arrêt optimal dans le cas d'un processus de Feller quelconque. Dans ce cas les problèmes sont plus compliqués et le temps d'arrêt optimal n'est pas forcément un temps d'atteinte. Nous finissons cette partie avec une application à la finance. La première partie de la thèse est une mise en évidence du fait que les temps d'arrêt optimaux de faillite d'une entreprise sont parfois des temps d'atteinte. Dans ce cas, les économistes s'intéressent à la loi du temps d'atteinte représentant l'instant de défaut d'une entreprise. C'est pourquoi, la deuxième partie de la thèse est consacrée au calcul de la loi d'un temps d'atteinte d'un processus de Lévy à sauts ainsi qu'à quelques exemples d'utilisation de cette loi. Nous démontrons que la fonction de répartition du premier temps d'atteinte d'un processus de Lévy (somme d'un mouvement brownien avec drift et d'un processus de Poisson composé), est dérivable sur  $\mathbb{R}^+$ . Nous mettons aussi en évidence quelle est

## RÉSUMÉS DE THÈSES

l'intensité de ce temps d'atteinte associée à différentes filtrations correspondant à différents types d'information des agents. La notion d'intensité correspond dans le domaine financier à la probabilité d'apparition du défaut d'une entreprise.

### **Vincent BOYER**

Directeurs de thèse : Jean-Bernard Lasserre (LAAS-CNRS), Moussa Elkihel (LAAS-CNRS) et Didier El Baz (Université Paul Sabatier de Toulouse) .

#### **Contribution à la programmation en nombre entier**

*Soutenue le 14 décembre 2007 à l'Univ. de Toulouse, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*

Le problème du sac à dos à plusieurs contraintes est un problème classique de l'optimisation appartenant à la classe des problèmes NP-difficiles. On le retrouve notamment sous la forme de sous-problème de nombreux problèmes d'optimisation combinatoire. Les méthodes classiques de résolution exacte telles que la programmation dynamique ou le branch-and-bound ont été traitées abondamment dans la littérature. Elles présentent néanmoins des faiblesses si elles sont utilisées telles quelles, d'où l'idée de faire coopérer ces méthodes en tirant profit de leurs spécificités afin de proposer soit des méthodes heuristiques performantes, soit des méthodes exactes plus efficaces. Les approches heuristiques que nous proposons sont comparées à d'autres heuristiques de la littérature. La méthode coopérative est, quant à elle, comparée à un algorithme de branch-and-bound. L'ensemble de ces tests numériques ont été menés sur diverses instances plus ou moins difficiles de la littérature ainsi que sur des instances générées aléatoirement. Nous considérons en particulier une nouvelle classe de problèmes difficiles. Cette dernière est basée sur l'analyse de la transformée en Z du problème du sac à dos.

### **Afshin FAYYAZ MOVAGHAR**

Directeur de thèse : Louis Ferré (Université Toulouse II).

#### **Signification statistique du score local d'alignement de séquences biologiques**

*Soutenue le 17 décembre 2007 à l'Univ. Toulouse II*

Cette thèse est consacrée à l'évaluation de la signification statistique pour la comparaison de séquences biologiques. Nous nous intéressons ici à l'optimisation d'alignements locaux. Un alignement local exprime les similitudes en révélant les parties des séquences qui sont semblables.

Si les méthodes usuelles (telles que BLAST) sont appropriées aux longues séquences, dans cette thèse, nous proposons deux nouvelles p-valeurs basées sur des méthodes

exactes hors du cadre asymptotique :

1. La p-valeur basée sur l’approche des h-uplets : elle combine une distribution approchée du score local sans gaps de deux séquences et une fonction de score spécifique qui permet d’introduire les gaps calculée pour un entier h donné. L’influence de h et la qualité de la p-valeur sont numériquement étudiées et comparées à la p-valeur obtenue par BLAST. Les résultats numériques soulignent que notre p-valeur approchée surpasse celle de BLAST pour des séquences courtes simulées ou réelles.
2. La nouvelle p-valeur obtenue en améliorant le ‘Greedy Extension model’ : elle est basée sur une approximation poissonnienne dont le paramètre est à estimer. Dans ce travail, nous l’estimons en utilisant des méthodes exactes qui améliorent la précision de la p-valeur. Nous illustrons notre propos par des simulations.

**Michaël BAGES**

Directeur de thèse : Patrick Martinez (Université Toulouse III ) et Jean-Michel Roquejoffre (Université Toulouse III ).

**Equations de réaction-diffusion de type KPP : ondes pulsatoires, dynamique non triviale et applications**

*Soutenue le 17 décembre 2007 à l’Univ. Paul Sabatier de Toulouse*

Cette thèse est consacrée à l’étude d’équations de réaction-diffusion de type KPP (Kolmogorov, Petrovsky et Piskunov) en milieu périodique. Ces équations interviennent dans de nombreux domaines de la physique et de la biologie. On s’intéresse plus particulièrement aux solutions de type ondes pulsatoires ou proches de celles-ci et à leurs propriétés qualitatives. La partie centrale de notre travail porte sur l’équation de type KPP en milieu périodique unidimensionnel  $u_t - u_{xx} = f(x, u)$ . Nous établissons tout d’abord l’existence d’ondes pulsatoires au comportement précisé à l’infini, ce qui permet d’exhiber ensuite des solutions dont la dynamique en temps grand est non triviale. Nous terminons par l’étude du système de réaction-diffusion de la SHS (Self-propagating High-temperature Synthesis) en combustion solide, pour lequel nous montrons l’existence d’un continuum de vitesses donnant lieu à des ondes pulsatoires.

**Vincent GIRINON**

Directeur de thèse : Jean-Pierre RAYMOND (Université de Toulouse).

**Quelques problèmes aux limites pour les équations de Navier-Stokes**

*Soutenue le 8 janvier 2008 à l'Université de Toulouse*

Nous nous intéressons aux équations de Navier-Stokes compressibles avec des conditions aux limites non homogènes. Le modèle considéré est celui de l'écoulement isentropique d'un gaz parfait en domaine bidimensionnel borné. Le cas de conditions aux limites homogènes a été étudié par P-L. Lions (1997) et E. Feireisl (2000). S. Novo a adapté leurs méthodes pour traiter un cas particulier de conditions aux limites non homogènes constantes en espace et en temps. Dans cette thèse, nous avons étudié des cas de conditions aux limites non constantes.

**Yves RAUDIN**

Directeur de Thèse : C. Amrouche.

**Espaces de Sobolev avec poids et problèmes elliptiques dans le demi-espace**

*Soutenue le 30 Novembre 2007 à l'Univ. de Pau et des Pays de l'Adour*

L'objet de cette thèse est la résolution de problèmes elliptiques dans le demi-espace. En partant des problèmes déjà traités de Dirichlet et de Neumann pour l'opérateur de Laplace dans cette géométrie, nous avons exploré différents aspects du problème biharmonique et de celui de Stokes. Nous donnons des résultats fondamentaux d'existence, d'unicité et de régularité en théorie non hilbertienne. Le cadre fonctionnel dans lequel nous nous plaçons est celui des espaces de Sobolev avec poids. Ce sont des structures appropriées pour décrire les comportements à l'infini en domaines non bornés dans les problèmes elliptiques. La principale différence avec les problèmes en domaine extérieur est due à la nature de la frontière qui est non compacte et une des difficultés est d'obtenir les espaces de traces ad hoc. Nous considérons ici des conditions aux limites non homogènes qu'on suppose également dans des espaces de Sobolev avec poids. Un aspect non négligeable de cette étude a trait aux conditions aux limites singulières et aux solutions très faibles qui en découlent. Il y est aussi abordé la question des conditions aux limites non standard, en particulier de type Navier pour le problème de Stokes.

**Julien JIMENEZ**

Directeurs de Thèse : M. Madaune-Tort et L. Lévi.

**Modèles non linéaires de transport dans un milieu poreux hétérogène**

*Soutenue le 28 Novembre 2007 à l’Univ. de Pau et des Pays de l’Adour*

Ce travail a pour objet l’étude de lois de conservation scalaires dont la fonction flux présente une discontinuité par rapport à la variable d’espace. Nous nous intéressons plus particulièrement au problème du raccord le long d’une interface commune des solutions de deux équations quasi linéaires hyperboliques du premier ordre, posées dans deux ouverts disjoints. Nous cherchons alors à obtenir des résultats d’existence et d’unicité d’une solution faible pour le problème de Dirichlet associé à ce type d’équations. Tout d’abord nous nous sommes intéressés au cas de la dimension 1 d’espace. Sous une condition de non dégénérescence de la non linéarité du flux, nous avons obtenu un résultat d’existence et d’unicité d’une solution faible entropique. La preuve de l’unicité est basée sur la méthode de dédoublement des variables puis sur un raisonnement presque partout à l’interface. L’existence s’obtient par une régularisation adéquate du coefficient discontinu dans le terme de convection. Nous avons ensuite étudié le cas multidimensionnel en proposant deux généralisations. En premier lieu nous considérons un problème couplé hyperbolique/hyperbolique, dont le flux vérifie la condition de non linéarité. Dans ce cas, nous pouvons adapter la preuve de l’unicité d’une solution faible entropique. Pour démontrer l’existence nous utilisons la méthode de viscosité artificielle. En second lieu nous traitons le cas de termes de convection pour lesquels la condition de non dégénérescence de la non linéarité n’est pas vérifiée. Nous ne pouvons donc pas adapter les méthodes précédemment utilisées. Nous nous sommes donc intéressés à un problème couplé perturbé où sur l’un des deux ouverts un terme de diffusion est ajouté. Sous l’hypothèse que les caractéristiques provenant de la zone hyperbolique sont sortantes à l’interface, l’unicité d’une solution faible entropique est établie. La méthode de viscosité artificielle et la notion de processus entropique nous permettent de prouver le résultat d’existence .

## Annonces de Colloques

*par* Thomas HABERKORN

### **MARS 2008**

SIXIÈMES JOURNÉES FRANCO-CHILIENNES D’OPTIMISATION

*du 3 au 5 mars 2008, à Toulon*

<http://champion.univ-tln.fr/JFCO>

COURS : MÉTHODES VARIATIONNELLES ET PARCIMONIEUSES EN TRAITEMENT  
DES SIGNAUX ET DES IMAGES

*du 6 mars au 4 avril 2008, à l’IHP (Paris)*

<http://www.ceremade.dauphine.fr/~peyre/cours-ihp-2008/>

ECOLE CEA-EDF-INRIA : MODELS OF CANCER AND ITS THERAPEUTIC CONTROL :  
FROM MOLECULES TO THE ORGANISM

*du 11 au 14 mars 2008, à Rocquencourt*

[http://www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/2008/  
models-cancer/index.fr.html](http://www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/2008/models-cancer/index.fr.html)

JOURNÉES DU GDR MASCOT NUM

*du 12 au 14 mars 2008, à Cadarache*

<http://www.gdr-mascotnum.fr/rencontres/rencontres.html>

9IÈME RECONTRE MATH-INDUSTRIE : TRANSPORT TERRESTRES. SIMULATIONS  
ET MAQUETTAGE NUMÉRIQUES

*le 13 mars 2008, à l’Ecole Centrale de Lyon*

<http://smi.emath.fr/spip.php?article104>

9TH IMACS INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ITERATIVE METHODS IN SCIENTIFIC  
COMPUTING

*du 17 au 20 mars 2008, à Lille*

<http://www-lmpa.univ-littoral.fr/IMACS09/>

NUMERICAL ANALYSIS AND COMPUTATION OF FLUID FLOWS

*du 27 au 28 mars 2008, à Calais*

<http://www-lmpa.univ-littoral.fr/~deuring/an-num-cfd.html>

### **AVRIL 2008**

WORKSHOP : MATHÉMATIQUES POUR L’IMAGE

*du 1 au 3 avril 2008, à Orléans*

<http://web.mac.com/maitine.bergounioux/iWeb/PagePro/Accueil.html>

ANNONCES DE COLLOQUES

WORKSHOP : NUMERICAL METHODS IN MOLECULAR SIMULATION

*du 7 au 11 avril 2008, à Bonn (Allemagne)*

[www.hausdorff-research-institute.uni-bonn.de/numerical-methods](http://www.hausdorff-research-institute.uni-bonn.de/numerical-methods)

PICOF 08 : 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INVERSE PROBLEMS, CONTROL AND SHAPE OPTIMIZATION

*du 16 au 18 avril 2008, à Marrakech (Maroc)*

<http://www.ucam.ac.ma/picof08/>

**MAI 2008**

20TH MINI-EURO CONFERENCE CONTINUOUS OPTIMIZATION AND KNOWLEDGE-BASED TECHNOLOGIES (EUROPT- 2008)

*du 20 au 23 mai 2008, à Neringa (Lituanie)*

<http://www.mii.lt/EUROPT-2008>

3ÈMES ECOLES EDA-EDO : EQUATIONS DIFFÉRENTIELLES ABSTRAITES-EQUATIONS DIFFÉRENTIELLES ORDINAIRES

*du 24 au 29 mai 2008, à Mostaganem (Algérie)*

<http://www.univ-mosta.dz/EDAEDO/>

4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPUTATIONAL METHODS (ACOMEN)

*du 26 au 28 mai 2008, à Liège (Belgique)*

[www.ltas.ulg.ac.be/acomen2008](http://www.ltas.ulg.ac.be/acomen2008)

SPRING SCHOOL IN NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

*du 26 au 30 mai 2008, à Louvain (Belgique)*

<http://www.uclouvain.be/math-spring-school-pde-2008.html>

CANUM 2008 : LE 39ÈME CONGRÈS NATIONAL D'ANALYSE NUMÉRIQUE

*du 26 au 30 mai 2008, à Saint Jean de Monts*

<http://smai.emath.fr/canum2008/>

81ÈME RENCONTRE ENTRE PHYSICIENS THÉORICIENS ET MATHÉMATIENS

*du 29 au 31 mai 2008, à Strasbourg*

<http://www-irma.u-strasbg.fr/article545.html>

**JUIN 2008**

5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FINITE VOLUMES FOR COMPLEX APPLICATIONS *du 8 au 13 juin 2008, à Aussois*

<http://www.latp.univ-mrs.fr/fvca5/>

ICIPE 2008 : 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INVERSE PROBLEMS IN ENGINEERING : THEORY AND PRACTICE *du 15 au 19 juin 2008, à Dourdan*

<http://www.icipe2008.ciril.fr>

ANNONCES DE COLLOQUES

---

CONTROL OF PHYSICAL SYSTEMS AND PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

*du 16 au 20 juin 2008, à l'IHP (Paris)*

<http://www.ann.jussieu.fr/CPS08/>

1ST INTERNATIONAL WORKSHOP ON FUNCTIONAL AND OPERATORIAL STATISTICS (IWFO'S'2008)

*du 19 au 21 juin 2008, à Toulouse*

<http://www.lsp.ups-tlse.fr/staph/IWFOS2008>

SYMPOSIUM SUR L'INGÉNIÉRIE FINANCIÈRE ET ECONOMIQUE

*du 20 au 21 juin 2008, à Agadir (Maroc)*

<http://www.ensa-agadir.ac.ma/fess/JIIEF-2008-ang.php>

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>

CONFERENCE ON STOCHASTIC NETWORKS 2008

*du 23 au 28 juin 2008, à Paris*

<http://www.liafa.jussieu.fr/~gmerlet/StochasticNetworks/>

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/>

**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/>

ANNONCES DE COLLOQUES

---

THE TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE 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/>

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/>

18TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE MATHEMATICAL THEORY OF NETWORKS AND SYSTEMS (MTNS 2008)

*du 28 juillet - 1er août 2008, à Blacksburg (Virginie)*

<http://www.cpe.vt.edu/mtns08/>

**SEPTEMBRE 2008**

SECOND 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>

COLLOQUE : 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>

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>

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>

## Notes de lecture

par Paul SABLONNIÈRE

MOHAMED ELKADI, BERNARD MOURRAIN : *Géométrie algébrique effective en dimension 0*, volume 59, collection “Mathématiques & Applications”

NOTES DE LECTURE

Les méthodes effectives en géométrie algébrique, et tout particulièrement les méthodes effectives de résolution des systèmes polynomiaux de dimension 0, sont en plein développement. Ce livre réunit dans un même volume les principales de ces méthodes. On y trouve également des réponses à nombre de questions connexes (résultants, résidus, etc ...).

Le premier chapitre (équations, idéaux, variétés) donne l’essentiel des notions nécessaires pour entrer de plein pied dans le cœur du sujet. Il fournit de plus des références détaillées qui permettent, si on le désire, d’aller plus loin. Il n’est donc pas nécessaire, pour commencer la lecture, d’être déjà un expert d’algèbre commutative et de géométrie algébrique. De plus, par la suite, il est possible et facile de s’y référer à tout moment, ce qui rend la lecture plus aisée. Notons d’ailleurs qu’on retrouve tout au long du livre les références nécessaires si l’on veut approfondir ou développer un thème particulier.

Le chapitre 2 (calcul dans une algèbre quotient) permet d’introduire les outils de base sur la réduction des polynômes avec les algorithmes désormais classiques tournant autour des bases de Gröbner (appartenance à un idéal, au radical d’un idéal, etc ...)

Le sujet central du livre étant la résolution des systèmes polynomiaux, le chapitre 3 sur les notions de dimension et de degré d’une variété algébrique trouve sa place naturellement, et permet de fixer les idées du lecteur sur ce sujet. A la suite de ce chapitre, on trouve tout aussi naturellement l’étude des algèbres de dimension 0.

---

REVUE DE PRESSE

Les notions de résultant sont développées dans les deux chapitres suivants (chapitres 5 et 6) : on y trouve très largement abordées toutes les extensions aujourd’hui classiques sur ce sujet.

Les chapitres suivants sont plus difficiles d’accès mais trouvent largement leur place dans cet ouvrage qui a l’ambition de réunir de nombreuses méthodes pour résoudre les systèmes polynomiaux : celles qui passent par les calculs de résidus demandent pour être comprises d’aborder les problèmes de dualité (chapitre 7) et d’étudier les algèbres de Gorenstein (chapitre 8). Ceci permet d’aborder la description et le calcul effectif des résidus algébriques, avec leurs applications au problème central de cet ouvrage (l’étude des systèmes polynomiaux).

Deux points sont très attrayants dans ce livre : les nombreux exercices proposés à la fin de chaque chapitre qui permettent au lecteur de faire le point, ainsi que les algorithmes qui illustrent les méthodes de résolution proposées, avec de nombreux exemples. De plus, un index de ces algorithmes permet de retrouver facilement l’un d’entre eux en cas de besoin, une fois le livre refermé.

Tout cela fait qu’on possède avec ce livre un outil très utile pour résoudre effectivement des systèmes polynomiaux, et un texte de référence précieux pour approfondir ce sujet.

*Par AVIVA SZPIRGLAS*

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

**Clermont - Ferrand** *Olivier Bodart*  
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

**Israël** *Ely Merzbach*  
Dépt. 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

**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  
Tel : 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-Jouyau*  
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



# 39<sup>ème</sup> Congrès National d'Analyse Numérique

# CANUM

## 26 - 30 mai 2008

Saint Jean de Monts, Vendée

VVF Les Grands Espaces

### Conférences Plénières

Amandine Aftalion  
Frédérique Clément  
Carlos Conca  
Gadi Fibich  
Martin Gander  
Josselin Garnier  
Virginie Grandgirard  
Bertrand Maury  
Guy Métivier



<http://smi.emath.fr/canum2008>  
[canum2008@smi.emath.fr](mailto:canum2008@smi.emath.fr)

organisation

