MATAPLI n^o 116- Juin 2018

Sommaire

Éditorial 3
Comptes rendus des CA et bureaux de la SMAI 7
Du côté du réseau MSO - Modélisation, Simulation, Optimisation 13
Parité en mathématiques 27
Leslie Fox Prize 2017 - Nicole Spillane 35
Le Prix Fermat 2017 et ses lauréats 49
Hommage à Christine Bernardi 65
Hommage à Jean-Louis Koszul 71
Histoire des idées et culture mathématique - théorie de jeux 85
Le plan de conservation partagée en mathématiques 91
Comptes rendus de manifestations 95
Résumés de thèses et HdR 109
Annonces de colloques 137
Liste des correspondants locaux 140

Date limite de soumission des textes pour le Matapli 117 :
15 octobre 2018

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
MATAPLI - ISSN 0762-5707
smai@emath.fr - http : //smai.emath.fr

Prix des publicités et encarts dans Matapli pour 2017/18

— 150 € pour une demi-page intérieure
— 250 € pour une page intérieure
— 400 € pour la 3e de couverture
— 450 € pour la 2e de couverture
— 500 € pour la 4e de couverture
— 300 € pour le routage avec Matapli d'une affiche format A4 (1500 exemplaires)

(nous consulter pour des demandes et prix spéciaux)

Envoyer un bon de commande au secrétariat de la Smai

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

Site internet de la SMAI :
http://smai.emath.fr/

Editorial

par Thierry Horsin, président de la SMAI

Chères lectrices, chers lecteurs de Matapli,

Le 28 mai 2018 a démarré le CANUM2018 organisé par l'équipe EDP du laboratoire de mathématiques de Versailles au cours duquel je finis d'écrire ces quelques lignes. Après pas tout à fait un an à présider la SMAI, je ressens un véritable plaisir à voir des membres de celle-ci se motiver régulièrement pour les activités qui en font son essence sans cesse renouvellée, mais dans la continuité de voir les mathématiques appliquées et industrielles portées par une communauté dynamique. Le CANUM, tout comme la Biennale sont des évènements importants et je remercie les collègues de Versailles de porter cette marque de la SMAI. La biennale 2019 sera organisée par Nantes, et à l'heure où j'écris ces lignes des volontés se sont manifestées pour l'organisation du CANUM 2020...

Dans quelques semaines également le CEMRACS 2018 démarrera, cet autre évènement de la SMAI, créé par Yvon Maday, est également une partie de la carte d'identité de l'association, et intimement associé à ce très bel endroit qu'est le CIRM. Le CEMRACS 2019 est également en route et des membres de la SMAI se mobilisent déjà pour organiser le CEMRACS 2020.

Les exemples de cette belle énergie sont multiples : après de nombreuses années à organiser avec un grand succès les journées EDP-Proba, Tony Lelièvre et Florent Malrieu ont passé la main à Vincent Calvez et Carl Graham. Je les remercie tous les quatre.

Le forum emploi maths 2018, en collaboration avec AMIES et la SFdS, aura lieu le 13 décembre 2018, l'organisation est coordonnée par Emmanuelle Crépeau et Myriam Maumy-Bertrand. Il est important que les membres de la SMAI se mobilisent comme chaque année pour cet évènement en y associant nos étudiantes et étudiants, nos collègues et nos contacts industriels.

Cette énergie bien présente, et je la vis quotidiennement avec le CA, le bureau et la commission informatique, la rédatrice en chef de Matapli, les correspondants locaux -un grand merci à toutes ces personnes-, doit aider aussi pour le recrutement

de nos jeunes collègues, et il me semble important que nous portions toutes et tous le message que faire des mathématiques appliquées est tout aussi fondamental pour les mathématiques que si elles sont faites sans idées applicatives derrière. Bien sûr et l'article de M. Chupin, J. Dolbeault et M. Esteban, paru dans le Matapli précédent montre que les choses ne sont pas si simples pour définir les mathématiques applquées et elles sont certainement mal caractérisées par un numéro de section CNU. Cependant plusieurs collègues m'ont indiqué leur surprise et leur inquiétude à voir des jeunes docteurs faisant des mathématiques appliquées se sentir peu légitimes à candidater sur des concours à profils généraux. Il me semble vital que la communauté mathématique française soutienne ces jeunes et leur délivre le message contraire.

L'avenir de la recherche en mathématiques et donc en mathématiques appliquées se trouve grandement impactées par les recrutements. Comme le permet de constater l'opération postes, le nombre de postes d'EC mis au concours ne cesse de diminiuer année après année. ll est donc inutile et dangereux de rajouter de l'autocensure qui ne pousse pas à l'optimisme intrinsèquement nécessaire aux avancées de la recherche.

Au délà de la simple communauté universitaire, et nous avons eu un échange fort intéressant à ce sujet lors du dernier CA de la SMAI, il appartient à l'état nation de promouvoir le recrutement des docteurs dans le monde non académique, pas seulement parce qu'il y a de moins en moins de postes académiques pour les doctorantes et les doctorants, mais aussi parce qu'il est fondamental que le monde de la recherche le pénètre bien d'avantage qu'il ne le fait actuellement, et je ne crois pas que cela soit réservé aux mathématiques appliquées, la qualité de la formation donnée par la recherche est indéniable, comme j'ai pu entendre plusieurs industriels le mentionner...

Cette formation par la recherche que constitue la préparation d'un doctorat est la parente de tout ce qui motive la communauté scientifique unie, et la SFdS, la SMAI et la SMF ont travaillé de concert et de conserve en ce sens, pour que la formation scientifique de nos jeunes soit bien présente au lycée. Je ne reviendrai pas sur la nécessité de cette formation pour apprendre à distinguer l'opinion du débat scientifique. Et la hiérarchisation des sciences et aux seins de chaque discipline celles des thématiques, donc en particulier au sein des mathématiques, qui induit cette autocensure dont je parlais, ne contribue guère à renforcer le poids scientifique que l'on souhaite voir. De fait il apparait tout aussi évident à des collègues d' autres disciplines que les mathématiques leur sont scientifiquement indispensables,

y compris au lycée, sans pour autant déjuger leur domaines.

Il est donc en particulier de la responsabilité de la communauté "maths applis" et donc de la SMAI, de s'intéresser à l'enseignement au lycée. Un rapport plus net avec la réalité applicative des sujets de recherche induit aussi probablement un rapport plus proche avec l'évolution de la jeunesse lycéenne et étudiante. La soirée thématique du CANUM 2018 consacrée à l'apprentissage à distance a été riche en débat à ce sujet, une des conclusions unanimes étant, et ce n'est pas surprenant, que la multiplicité des outils modernes nécessite un travail collaboratif que notre tendance à refaire chacun dans notre coin ce qui existe déjà n'induit pas facilement. La présentation de jupyther, donnée le lendemain, est un élément de réponse, au moins pour ce qui concerne la formation aux simulations numériques.

Je voudrais terminer cet éditorial avec une mention spéciale à toutes les personnes qui font ou ont fait vivre l'opération postes depuis 20 ans. Parfois attaquée, la SMAI l'a toujours défendue et année après année, ainsi que je le disais plus haut, force est de constater que son utilité n'est plus à démontrer. Merci beaucoup !!!

Bien amicalement.

Curves & Surfaces 2018
Arcachon, France / June 28 – July 4, 2018
Organized by SMAI SIGMA
Plenary speakers:
Alexander Bobenko, Berlin
Emmanuel Candes, Stanford
Maria Charina, Wien
Elaine Cohen, Utah
Philipp Grohs, Wien
Frances Kuo, Sydney
Mauro Maggioni, Johns Hopkins
Jorg Peters, Florida
Amit Singer, Princeton
Max Wardetzky, Goettingen
Mini-symposia organizers:
Christian Gout, Rouen
Thomas Hangelbroek, Hawaii
Stefan Kunis, Osnabrueck
Dany Leviatan, Tel Aviv
Georg Muntingh, Oslo
Steve Oudot, Inria Saclay
Martin Rumpf, Bonn
Giancarlo Sangalli, Pavia
Carola-Bibiane Schoenlieb, Cambridge
Vladimir Temlyakov, South Carolina
Registration: http://www.curvesandsurfaces.org
SMAI
SIGMA
erc
IUF
Fondation
FMJH
Hadamard

Comptes rendus des CA et bureaux de la SMAI

Communiqué par Nicolas Vauchelet
Secrétaire Général de la SMAI

Compte rendu — Conseil d'Administration 30 Mars 2018

Présents : F. Barbaresco, P. Calka, J.-F. Gerbeau, O. Goubet, L. Goudenège, T. Horsin, F. Hubert, J. Lacaille, M. Lewin, T. Lelièvre, S. Mancini, Y. Penel, N. Vauchelet, M. Zani.

Excusés : T. Champion, F. Issard-Roch, R. Laraki, V. Perrier, S. Robin, C. Scheid, V. C. Tran.

Principaux points à l'ordre du jour

Présentation du futur groupe Math-Bio Un projet de création d'un groupe SMAI portant sur la thématique des mathématiques appliquées à la Biologie a été brièvement présenté au CA par Gaël Raoul, l'un des deux porteurs du projet, (l'autre porteur étant Magali Ribot). Cette thématique est actuellement en plein essor, ainsi l'année 2018 a été intitulé année des mathématiques pour la biologie par l'EMS et l'EMSTB. Une activité scientifique est prévue en 2019 et un mois thématique en 2020. Le document de création du groupe est en cours de rédaction. Un comité de liaison consistué de 5 personnes devrait être proposé prochainement. Suite à cette présentation, le Conseil d'Administration de la SMAI décide de proposer la création de ce nouveau groupe thématique à la prochaine Assemblée Générale de la SMAI avec la recommandation de préciser le périmètre scientifique du groupe.

Projets BOUM Neuf demandes de projet BOUM ont été collectées pour ce premier appel à projets en 2018. Trois projets ont été acceptés, un projet est partiellement accepté, les autres projets ne rentrent pas dans le cadre des projets BOUM. Le CA tient à rappeler que les projets BOUM (BOUge tes Mathématiques) ont pour vocation de soutenir des projets initiés par les jeunes pour des jeunes. Ainsi, le soutien financier à la participation de quelques jeunes chercheurs dans une conférence scientifique ne comportant pas d'événements spécialement tournés vers les jeunes chercheurs n'entre pas dans ce cadre.

Point sur les comptes La trésorière de la SMAI, Simona Mancini, a présenté le budget de l'exercice 2017. La SMAI termine l'exercice 2017 avec un bilan positif, ce qui confirme sa bonne santé financière. Les comptes consolidés seront présentés lors de l'AG du mois de Juin 2018. La trésorière est très reconnaissante de l'aide apportée par Noura Sahtout et Alain Prignet.
Le CA approuve l'exercice comptable et valide le remboursement des frais de mission pour les membres du CA jusqu'à la date du 25 mars 2018.

Point sur les publications

- L'inclusion de MMNP dans le bouquet de la SMAI suit son cours, les trois éditeurs proposés par la SMAI sont maintenant inclus officiellement dans le bureau éditorial de la revue.
- Un CA extraordinaire d'EDP Sciences a eu lieu récemment. EDP Sciences a décidé de vendre sa filiale EDP Santé, afin de se concentrer sur l'édition académique. Pour rappel, la SMAI est éditrice de trois journaux qui ne lui appartiennent pas (M2AN, RO, MMNP). Alors que P&S, ESAIM Proc., COCV appartiennent à la SMAI et sont édités par EDP Sciences.
- Suite à la volonté de la SMAI d'avoir des actions communes avec la SIF, une demi-journée commune autour des publications est en préparation pour l'automne 2018.

Point site web Les travaux de réflexion pour la mise en place d'un nouveau site web de la SMAI se poursuivent. L'arborescence du futur site web à partir d'un diagramme du site actuel est actuellement en cours d'étude. L'outil envisagé pour le nouveau site devrait permettre un automatisation du transfert du site actuel. Mais un travail long et fastidieux restera à effectuer pour lequel l'utilisation d'un prestateur externe sera sans doute nécessaire, une fois que le cahier des charges sera bien défini.

Point sur le secrétariat L'embauche d'une personne pour un soutien aux activités d'organisation des manifestations de la SMAI sous forme de CDD ou en INTERIM est complexe ou trop onéreuse pour être envisager actuellement compte tenu de l'organisation du secrétariat en raison du départ en congés de formation de Huong Fuentes. Cette décision d'embauche sera reconsidérée au retour de celle-ci. Le passage de la quotité de travail de Noura Sahtout de 80% à un temps plein permet déjà de contribuer à ce soutien.

Actions Grand Public par Florence Hubert.

- **Cycle de médiation scientifique SMAI/CNAM** Une série de rencontres a eu lieu à l'occasion de la semaine des mathématiques 12-16 mars.

  Plus précisément, ont été organisées

— Une intervention le mercredi 14 mars de Jean-Michel Coron, (professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Membre de l'Académie des Sciences), « Sur la régulation des systèmes : des horloges à eau aux pilotes automatiques » , en liaison avec les régulateurs de Watt, le gyroscope de Foucault, le servomoteur de Farcot.

— Une intervention le vendredi 16 mars de Patrice Hauret, (Michelin) sur « Le pneumatique : performance automobile, mouvement et mathématiques », en liaison avec la Ford T.

— Les samedi 17 et dimanche 18 mars, trois animations ont été initiées par la SMAI. Jocelyne Erhel a parlé de la fonte de la calotte glacière, Gabriel Peyré a fait des animations sur la photographie en lien avec un atelier de serigraphie du musée et Pierre Rouchon a animé des visites ambulantes autour du pendule de Foucault et des régulateurs de Watt.

La SMAI et le Musée du CNAM étudient la possibilité d'une diffusion en direct des conférences dans d'autres centres du CNAM avec des conférences en lien avec des objets stockés dans le musée ou ses réserves. Pour cela, des petites séquences de 15 minutes autour de ces objets vont être filmées. Une convention entre la SMAI et le musée est en cours de préparation.

Les prochaines séances seront programmées pendant la semaine de la fête de la science en octobre 2018.

— **Semaine des mathématiques 2018**

La thématique choisie pour la semaine des mathématiques 2018 était « Mathématiques et mouvement ».

La SMAI a organisé en collaboration avec l'IHP et AMIES une journée le mardi 13 mars dans ce cadre. Une demi-journée RMI sur le thème Mathématiques et mouvements dans le sport a été organisée le matin, l'après midi était à destination des lycéens et du grand public.

— **Prix de l'académie des sciences**

Des journées en l'honneur des primés de l'académie des sciences 2016 et 2017 ont été organisées les 21- 22 décembre à Grenoble. La SMF a piloté l'organisation de ces journées communes. La SMAI va piloter l'organisation des journées en 2018.

— **Salon culture et jeux mathématiques**

Le dix-neuvième salon Culture et Jeux Mathématiques se déroulera Place Saint Sulpice, Paris VIème du 24 au 27 mai 2018. La thématique cette année est « Mathématiques et mouvements ». Les sociétés savantes partageront un stand intitulé "Métiers des maths".

— **Site web**

On rappelle que le site web de la SMAI a un nouvel onglet "Grand public" sur lequel toutes ces informations sont répertoriées.

Enseignement

— L'actualité est chargée dû à la réforme du baccalauréat et du lycée. De nombreuses discussions autour du module intitulé « humanités numériques et scientifiques » ont eu lieu, qui ont suscité des réactions communes. Ainsi la CFEM, par la voix de sa présidente, a rédigé une lettre signée par la SMAI. Une lettre ouverte à été envoyée à M. le ministre J.-M. Blanquer. Une table ronde a été organisée lors de l'AG de l'association Femmes & Maths le samedi 17 mars, qui a publié un communiqué de presse qui a fortement diffusé. Suite à ces réactions, deux représentants de la SMF ont été conviés au cabinet du ministère et ont porté le message de la communauté scientifique. Le module deviendrait « culture numérique et scientifique », ce qui impliquerait que toutes les formations devraient contenir une culture scientifique pour l'obtention du baccalauréat. Bien que les instances gouvernementales semblent vouloir entendre ces réactions, il reste encore des points de vigilance. Ainsi le fait que tous les futurs enseignants, en particulier dans les écoles primaires, ait une formation scientifique est point important.

En lien avec ces questions d'enseignement, une pétition de l'UdPPC a été envoyée. Le CA donne son accord pour que la SMAI soit signataire de cette pétition.

— Un mini-symposium enseignement sous forme d'une table ronde sur l'enseignement sera organisée pendant le prochain CANUM.

Nouvelles des groupes thématiques :

— Groupe SMAI-MAS, par Pierre Calka

  — 3 avril : réunion du jury du prix Neveu, jury qui a été renouvelé à 50% cette année.

  — 14-18 mai 2018 : colloque "Jeunes Probabilistes et Statisticiens", à Oléron, https://jps-2018.sciencesconf.org/
  Ce colloque se tient tous les deux ans depuis 1994 et rassemble des doctorants avancés. Son but est de leur fournir un cadre agréable et informel pour se rencontrer, exposer leurs travaux et enrichir leur spectre thématique.

  — 14-18 mai 2018 : Stochastic Geometry Days 2018, Paris Descartes, https://geosto-2018.sciencesconf.org/ événement soutenu par le groupe MAS.

  — 29-31 août 2018 : journées MAS 2018, Dijon, http://mas2018.math.cnrs.fr/. Les conférenciers pléniers et sessions parallèles sont officiels. Les inscriptions sont maintenant ouvertes.

— Le groupe SMAI-GAMNI est impliqué dans l'organisation du WCCM 2020 à Paris.

Point sur la collaboration entre la SMAI et la SIF Deux organisations de manifestations communes sont envisagées : une demi-journée sur la diffusion des connaissances autour des publications, une journée scientifique commune (co-organisé par Florian De Vuyst, Violaine Louvet, Francis Bach). Par ailleurs, la SIF a proposé une adhésion commune à AEF qui pourrait avoir lieu aussi avec la SMF et la SFdS.

Question sur la retransmission des lettres de l'INSMI Faisant suite à diverses demandes d'adhérents et de précédents échanges avec l'INSMI, la SMAI propose de mettre un lien pointant vers la lettre de l'INSMI dans la lettre SMAI-Info.

Prochaines élections Le vote électronique va être reconduit. Une option de vote par papier sera toujours possible lors de l'AG du 15 juin 2018 au CNAM afin de permettre aux adhérents de dernières minutes de participer au vote. Pour cela le vote électronique sera clos deux semaines avant l'AG pour avoir la liste des votants en avance. Les élections seront ouvertes du 22 mai au 3 juin. Le dépouillement aura lieu au moment de l'AG du 15 juin 2018.

CANUM et CEMRACS 2020 . Un appel aux bonnes volontés pour l'organisation de ces manifestations de la SMAI est lancé.

Soutien financier de la SMAI à des conférences

Subvention au forum des jeunes mathématicien.ne.s Le CA de la SMAI accorde son soutien pour financer la participation de quelques jeunes au forum des jeunes mathématicien.ne.s organisé par l'association Femmes & Maths en novembre 2018 à Orléans, de l'ordre de 1000€.

Ecole Franco-Espagnole Soutien de la SMAI sous la forme de bourses jeunes à hauteur de 300€ maximum par participant pour un budget maximum de 2000€.

Points d'information

Journées EDP-Proba Vincent Calvez et Carl Graham ont repris la responsabilité de ces journées, faisant suite à Tony Lelièvre et Florent Malrieu. La SMAI les remercie tous pour leur investissement qui remporte un beau succès.

Prochains CA de la SMAI - vendredi 29 juin à 14h dans la salle visio de l'IHP. Prochaine AG le 15 juin à 16h00 au CNAM.

SMAI Members:
JOIN SIAM®

AT A 30% DISCOUNT!

If you live outside the United States, join SIAM as a reciprocal member and become part of our international and interdisciplinary community of educators, practitioners, researchers, and students from more than 100 countries working in industry, laboratories, government, and academia.

SIAM OFFERS YOU:

- Subscriptions to *SIAM News* and *SIAM Review*
- Discounts on SIAM books, journals, and conferences
- Eligibility to join SIAM activity groups
- SIAM Unwrapped (member e-newsletter)
- The ability to nominate two students for free membership
- Eligibility to vote for or become part of SIAM leadership
- Eligibility to nominate or to be nominated as a SIAM Fellow

GO TO WWW.SIAM.ORG/JOINSIAM TO JOIN ONLINE AS A RECIPROCAL MEMBER AND RECEIVE A 30% DISCOUNT.

JOIN TODAY
www.siam.org/joinsiam

SOCIETY for INDUSTRIAL and APPLIED MATHEMATICS

3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA
Phone: +1-215-382-9800 · Fax: +1-215-386-7999 · membership@siam.org · www.siam.org

11/17

Du côté du réseau MSO - Modélisation, Simulation, Optimisation

Nous continuons notre tour de France des membres du réseau MSO. Ce réseau regroupe des structures aux modes de fonctionnement variés. Cette diversité est gage d'adaptabilité aux réalités locales. Toutes ces entités sont des lieux, au plus proche du terrain, des réalisations effectives des relations mathématiques - entreprises. Après la présentation dans le numéro précédent de MATAPLI des membres MSO-AuRA (pour la région Auvergne - Rhône-Alpes) et CEMOSIS (Alsace), nous vous proposons de découvrir SMILES (Paris) qui est aussi un tremplin Carnot et l'Agence Lebesgue qui agit au niveau des deux régions Bretagne et Pays de Loire. Bonne lecture !

L'Agence Lebesgue de Mathématiques pour l'Innovation

Communiqué par Christophe Berthon, Université de Nantes

Campus Beaulieu
Bâtiment 23
Case 2200 / CS 74205 35042 Rennes Cedex
Site web : agence.lebesgue.fr
Email : contact@agence-lebesgue.fr

AGENCE LEBESGUE
DE MATHÉMATIQUES POUR L'INNOVATION

L'Agence Lebesgue a été inaugurée en novembre 2016 sur une initiative du Centre Henri Lebesgue (CHL), laboratoire d'excellence de recherche et de formation en mathématiques pour la Bretagne et les Pays de la Loire avec de forts liens interdisciplinaires. L'Agence Lebesgue se positionne donc sur un vaste territoire et réunit des compétences mathématiques de Rennes, Nantes, Brest, Vannes et Angers, dans toutes les disciplines des mathématiques présentes dans le grand ouest permettant de progresser plus rapidement sur les grands problèmes scientifiques.

L'Agence Lebesgue promeut et développe les actions menées en mathématiques dans le grand ouest suivant trois axes majeurs :

- recherches industrielles,
- recherches académiques,
- formation continue autours de trois spécialités d'applications : le calcul scientifique, les statistiques et la cryptographie, mais ce catalogue a pour vocation à être étendu.

Elle reste résolument tournée vers l'extérieur et a pour vocation à devenir un acteur incontournable dans la réalisation des enjeux sociétaux de demain en créant les liens et en encourageant les synergies entre les mathématiques et le tissu scientifique et socio-économique local.

En presque deux ans d'existence, l'Agence Lebesgue est devenue un interlocuteur naturel pour tout acteur du monde scientifique ou du monde industriel confronté à un problème mathématique identifié. Il s'agit alors d'offrir les meilleurs compétences disponibles dans les champs d'action couverts par l'Agence : calcul scientifique, analyse numérique, statistiques, probabilité, analyse, géométrie, algèbre, cryptographie. Mais cette liste reste non exhaustive. Il s'agit, également, de proposer des formations adaptées afin de pouvoir tirer le meilleur profit des compétences mathématiques suggérées.

Dans de nombreux cas, les problèmes mathématiques, rencontrés par des scientifiques issus de toutes origines ou des acteurs de l'industrie, ne sont pas clairement identifiés ou le sont très insuffisamment. Par le biais de consultations et d'une communication renforcée, l'Agence Lebesgue a une mission d'accompagnement et d'encadrement de ces acteurs.

L'organisation de l'Agence Lebesgue L'Agence Lebesgue s'appuie sur les domaines d'expertises du Centre Henri Lebesgue. Plus de 300 chercheurs en mathématiques sont ainsi impliqués avec des compétences très variées.

La direction est assurée entre Rennes et Nantes et secondée par un secrétariat très efficace. En raison de son vaste territoire géographique, des correspondants locaux (Angers, Nantes, Rennes, Vannes) assurent la représentation et de développement de l'Agence Lebesgue. L'ensemble des correspondants forme un comité exécutif qui se réunit tous les deux mois.

Afin de remplir ses missions, l'Agence Lebesgue a mis en place différentes actions de soutien.

1. Les groupes de travail thématiques
Plusieurs groupes de travail thématiques, avec une fréquence périodique ou ponctuelle, sont régulièrement organisés par l'Agence Lebesgue.

- Épidémiologies neurovirus à Nantes
  Le Groupe de travail est constitués de membres du CHL et du Directeur du Centre de Recherche en Cancérologie Nantes-Angers. Une douzaine de rencontres ont déjà eu lieu pour comprendre, développer et analyser des modèles de type SIR dans le cas de la propagation de neurovirus.
- Auto-apprentissage profond (Deep learning) à Rennes
  Une dizaine de rencontres de travail ont eu lieu sur le sujet en collaboration avec des membres du CHL et de Technicolor. Dans la suite de ce groupe de travail, une conférence du semestre Calcul Scientifique sera co-organisée par Technicolor sur le Deep learning pour couvrir des aspects théoriques et applicatifs.
- Modélisation de la croissance des poissons à Rennes
  Plusieurs rencontres ont eu lieu entre le CHL et le LPGP depuis avril 2017 pour définir et avancer sur un projet de collaboration en modélisation. Dans un premier temps, il s'agit d'améliorer le modèle de croissance utilisé dans leur pisciculture expérimentale pour les jeunes poissons puis de prendre en compte les effets de la maturation et de la fécondité. Un stage de Master 1 est actuellement co-encadré sur ce sujet.
- Modélisation statistique des données économiques de l'élevage porcin en Bretagne à Rennes
  Des chercheurs du CHL et de l'INRA ont étudié les possibilités de modélisation des données économiques de l'élevage porcin (prix de vente et prix des matières premières pour les aliments). Cette étude préliminaire se poursuit par le co-encadrement d'un doctorant sur le sujet de l'optimisation économique et environnementale des élevages porcins dans un contexte incertain.
- Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent à Nantes
  Il s'agit ici de comprendre les données statistiques obtenues par des applications Smartphones afin de réduire les récidives de tentative de suicide chez les enfants et les adolescents.

2. Les journées de l'agence
L'agence Lebesgue a initié un cycle de rencontres sous la forme de journées thématiques pour favoriser les collaborations interdisciplinaires et avec les scientifiques des entreprises.

- La Journée Mathématiques et Agronomie, Rennes, 8 décembre 2016
  Cet événement a permis la rencontre de mathématiciens du CHL avec des chercheurs de l'INRA. Plusieurs collaborations scientifiques ont depuis vu le jour autours de :
  - l'optimisation économique et environnementale des stratégies alimentaires dans les systèmes d'élevage,

— la modélisation de la fécondité et de la croissance des poissons où un premier modèle a été élaboré,

— la modélisation de la différenciation des cellules souches adultes entre cellules musculaires et cellules adipeuses.

Une prochaine journée Mathématiques et Agronomie est prévue à l'INRA de Saint-Gilles le jeudi 15 novembre 2018.

— La Journée Mathématiques et Optique, Rennes, 20 octobre 2017
Cette journée a permis de réunir mathématiciens et physiciens impliqués dans des problématiques de modélisation mathématique ou de simulation numérique en optique. Des applications potentielles ont émergées des différentes thématiques de recherche en optique. Une thèse est en cours sur l'étude mathématique des micro-résonateurs optiques.

— La Journée Mathématiques et Sciences du Vivant, Angers, 16 novembre 2017
Quelques travaux de recherche en cours impliquant mathématiciens et chercheurs des pôles biologie et santé de l'Université d'Angers ont été présentés lors de cette rencontre. La reconstruction de généalogies d'espèces végétales, certaines méthodes de classification statistique et la modélisation de l'évolution de tumeurs figurent parmi les sujets abordés.

— Les Journées Mathématiques et Entreprises, Vannes, 12-13 avril 2018
Pour répondre aux besoins croissants en moyens de calcul, les entreprises et les laboratoires de recherche développent intensément de nouvelles méthodes numériques, des logiciels et du matériel. Les différents acteurs ont pu échanger lors de ces journées sur les dernières avancées pour améliorer les performances du calcul scientifique. Quelques exemples d'applications ont été présentés : auto apprentissage, consommations électriques, télédétection, biologie...

— La Journée Mathématiques et Environnement, Rennes, 11 octobre 2018
Elle se déroulera à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes et a pour ambition de faire connaître les collaborations existantes et les besoins, et de permettre la mise en place de nouveaux projets en commun.

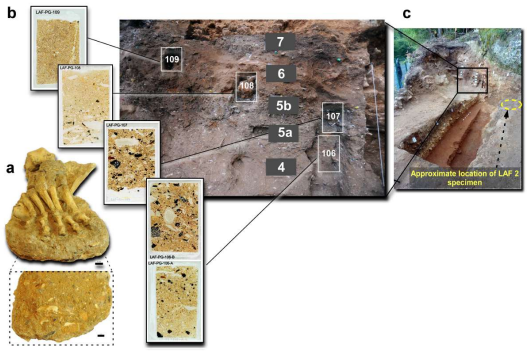
Partenariats Industriels et Académiques Quelques exemples de collaborations illustrant différentes actions menées au sein de l'Agence Lebesgue.

— *Datation par luminescence*
Depuis les années 90, la statistique bayésienne est appliquée à l'analyse et la modélisation de données de la datation par C14 afin de reconstruire des chronologies de sites géologiques ou archéologiques. Les datations de nombreux sites pourraient être précisées ou consolidées en intégrant des mesures issues d'autres techniques de datation comme la luminescence, archéomagnétisme, etc. En collaboration avec l'institut de recherche sur les Archéomatériaux,

Centre de recherche en physique appliquée à l'archéologie (UMR CNRS, Université Bordeaux Montaigne.) Des modèles bayésiens ont été développés pour estimer un âge par luminescence.

L'innovation principale de notre modélisation est de prendre en compte les erreurs systématiques liées à l'estimation du débit de dose. Ces erreurs sont propres à chaque laboratoire, elles dépendent du protocole expérimental et du matériel.

Des algorithmes de Monte Carlo ont été développés pour évaluer les lois a posteriori des âges puis implémentés dans une librairie R (BayLum). Le modèle final proposé permet l'estimation de séquences dates issues de différentes méthodes de datation et intègre des informations a priori sur la stratigraphie, voir l'image ci-dessous [1].



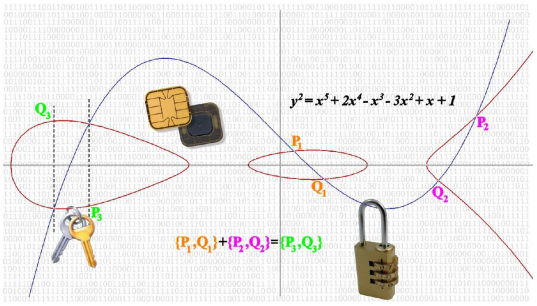
Les modèles développés ont été testés sur les données provenant du laboratoire de Bordeaux et par le laboratoire danois "Risoe National Laboratory, Technical University of Denmark" qui fabrique un type de machine pour mesurer la luminescence stimulée optiquement ou la thermoluminescence. Ces mesures sont des données d'entrée du modèle d'estimation d'âge.

— *Courbes elliptiques en cryptographie pour les télécommunications*
La loi de groupe permet de faire de la cryptographie à clé publique (échange de secret, authentification, signature numérique) et demande moins de ressources que le système RSA. Elle est utilisée pour le Blu-Ray, les passeports, les Playstations, les carte SIM.

L'IRMAR et Orange ont collaboré dans le cadre du projet ANR SIMPA-TIC pour améliorer les cartes SIM : consommation énergétique, ressources

1. Cette image est issue de l'article : Guérin, G., Frouin, M., Talamo, S., Aldeias, V., Bruxelles, L., Chiotti, L., Dibble, H. L., Goldberg, P., Hublin, J.-J., Jain, M., Lahaye, C., Madelaine, S., Maureille, B, McPherron, S. P., Mercier, N., Murray, A. S., Sandgathe, D., Steele, T. E., Thomsen, K. J., Turq, A., 2015. A Multi-method Luminescence Dating of the Palaeolithic Sequence of La Ferrassie Based on New Excavations Adjacent to the La Ferrassie 1 and 2 Skeletons. Journal of Archaeological Science 58, 147-166.

mémoires, externalisation de certains calculs. Une thèse CIFRE a aussi permis de choisir les courbes pour une implémentation sûre et efficace pour les produits Orange comme la Livebox.



— *Corset personnalisé pour soigner la scoliose*
Une collaboration entre l'IRMAR, le CHU de Rennes et l'entreprise PROTEOR a permis la mise en place d'outils, de méthodes et de protocoles pour améliorer la conception des corsets orthopédiques de traitement de la scoliose idiopathique de l'adolescent. Les 3 étapes principales sont les suivantes :

- Reconstruction 3D (interne et externe) du tronc du patient avec et sans corset.
- Mesure des efforts appliqués par le corset sur le tronc du patient.
- Identification d'une biomécanique globale personnelle simplifiée du rachis scoliotique du patient.

Cette collaboration s'est mise en place grâce à un stage de Master 2, une thèse CIFRE et un contrat d'ingénieur de recherche.

Tremplin Carnot Smiles

Communiqué par Philippe Aubaret et Yvon Maday,
Sorbonne Université

Historique de la structure (reprenant des éléments présentés par Jean Claude Nedelec et Jean Pierre Puel en 1987 à l'occasion du colloque Mathématiques à Venir : Quels mathématiciens pour l'an 2000 ?) Les collaborations industrielles au sein du Laboratoire Jacques-Louis Lions (LJLL) existent depuis sa fondation, il y aura bientôt 50 ans, alors qu'il s'appelait Laboratoire d'Analyse Numérique.

En effet, selon le vœu de son fondateur, les recherches devaient tendre à faire une chaîne allant de l'expression et de l'étude mathématique d'un problème à l'obtention de résultats quantitatifs utilisables par un ingénieur par exemple. Ainsi, par vocation et par volonté, soutenues par les directeurs qui se sont succédés, ce laboratoire s'est trouvé l'un des premiers laboratoires universitaires de Mathématiques à avoir une réelle interface avec les applications, l'accent étant mis principalement sur les applications à la Physique, la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur, ce avec le plus souvent des implications industrielles. Cette interface se manifeste à la fois par le choix des sujets de recherches de ses membres, la formation de masters et plus récemment au sein de l'école d'ingénieur qui s'appelle maintenant Polytech-Sorbonne et le travail de petites équipes sur des contrats.

Ces contrats passés directement avec des industriels (parmi les premiers, citons l'Aérospatiale, Delas-Weir, EDF, Elf-Aquitaine, AMD-BA, ...) ont permis dès la fondation de poser sur la table un certain nombre de problèmes :

- Comment faire une juste évaluation du coût d'une étude ?
- Peut-on s'engager à payer un étudiant pour un travail sur contrat ?
- Jusqu'à quel stade de développement une étude faite dans le cadre d'un laboratoire de recherche universitaire peut-elle aller (l'industriel désirant en général un produit le plus directement utilisable) ?
- Quel est l'apport scientifique d'un contrat ?
- Un contrat permet-il d'aborder un domaine qui serait autrement resté sans étude ?

et d'engager, à partir de ces questions, une reflexion sur les bonnes pratiques et l'apport pour la progression de la connaissance.

L'avancée de cette reflexion s'est en particulier traduite par de nombreuses thèses qui, dès les années 1980, ont été soutenues sur des sujets appliqués ou même directement industriels par des étudiants travaillant soit au Laboratoire d'Analyse Numérique ou au Centre de Mathématiques Appliquées de I'Ecole Polytechnique

(CMAP, qui a très vite rejoint la dynamique en particulier autour du DEA commun), soit dans des laboratoires industriels avec la collaboration et l'encadrement de chercheurs du LAN ou du CMAP.

Cette situation à permis a Pierre Arnaud Raviart de proposer un FIRTECH (Formation des Ingénieurs à la Recherche et à la Technologie) centré sur le Calcul Scientifique en 1985. Ce FIRTECH, fonctionnant comme un club d'entreprises avait pour but de former des étudiants de haut niveau (principalement issus du DEA d'Analyse Numérique), et d'assurer les moyens de cette formation, principalement dans le cadre de thèses, sur des sujets de caractère appliqué ou industriel décidés par les membres du FIRTECH. Ces sujets pouvant être, selon la volonté des partenaires, des sujets d'application directe à court terme ou des sujets plus fondamentaux nécessitant le moyen ou long terme. Il est à noter que ce FIRTECH a eu un impact majeur sur la réflexion sur la place des collaborations industrielles au sein d'un laboratoire de recherche.

C'est aussi dans cette démarche qu'à été proposé et lancé en 1996 le concept du CEMRACS par des membres du Laboratoire, bénéficiant du cadre novateur du laboratoire ASCI, pour accélérer le passage des nouvelles méthodes numériques dans les codes des industriels pour lever des verrous identifiés par les partenaires industriels.

Plus récemment, le spectre des applications au sein du LJLL s'est notablement élargi : dynamique des fluides ; physique, mécanique et chimie théoriques ; contrôle, optimisation et finance ; médecine et biologie ; traitement du signal, des données et de l'information. . .. Cet élargissement thématique s'accompagnant de collaborations académiques interdisciplinaires avec des chercheurs de laboratoires variés allant de la modélisation mathématique de systèmes complexes à leur simulation, leur contrôle et l'optimisation sur des objectifs précis.

L'installation par le CNRS, d'ingénieurs pour soutenir ces actions de collaborations industrielles dans les années 2010 a permis de passer à une démarche plus prospective où les chercheurs, accompagnés de l'ingénieur, sont allés démarcher quelques entreprises nouvelles potentiellement intéressées par des collaborations. Ce travail de prospection au long cours a été de paire avec d'autres démarches en particulier grâce à la dynamique apportée par la Fondation de Sciences Mathématiques de Paris (FSMP), porteuse depuis 2011 du LabEx éponyme, où les collaborations industrielles ont dès le début trouvé un écho et un soutien appuyé.

C'est, porté par cette histoire, que l'idée d'aller plus loin en proposant la création d'un Institut Carnot s'est rapidement dessinée et, profitant de l'appel à candidature en 2016, fortement soutenu par l'Université Pierre et Marie Curie, le LJLL a construit un projet, centré sur la modélisation mathématique, la simulation numé-

rique, l'optimisation et le contrôle, reposant également sur l'Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD) au travers duquel des chercheurs de

- Laboratoire Jean Le Rond D'Alembert
- Laboratoire de Mathématiques appliquées de Compiègne
- Station Marine de Roscoff
- LCQB (Laboratory of Computational and Quantitative Biology)
- LCT (Laboratoire de Chimie Théorique)
- Laboratoire Physicochimie des Electrolytes et Nanosystèmes interfaciaux
- Laboratoire d'électronique et électromagnétisme
- Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses
- Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides
- INSP (Institut des NanoSciences de Paris)
- Institut des Sciences de la Terre Paris
- Laboratoire de Physique des Plasmas
- LERMA (Laboratoire d'Etudes du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique et Atmosphères)
- Labex Plas@par

ainsi que des chercheurs du Laboratoire de Probabilités, Statistique et Modélisation (LPSM) et de l'Institut de Mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche (IMJ-PRG) se retrouvent et collaborent.

On peut noter que, avec le LJLL, ces deux laboratoires associés à Sorbonne Université, à l'Université Paris Diderot (Paris 7) et au CNRS sont membres de la FSMP qui dès le dépot du dossier a soutenu l'initiative de création d'un institut Carnot en Mathématiques. Par ailleurs et dans le cadre du développement de ses activités en direction des industriels, la FSMP a établi un catalogue de compétences dont le Carnot SMILES fait la publicité.

L'institut Carnot SMILES a donc été créé en janvier 2017, après avoir été labellisé par le ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en juillet 2016, sous la forme d'un tremplin Carnot, comme 8 autres nouveaux Instituts, structure qui leur permet de bénéficier d'un abondement "a priori".

L'institut Carnot SMILES (pour "Sciences Mathématiques pour l'Innovation, Label d'Excellence Stratégique") a pour vocation de "mettre la déraisonnable efficacité des mathématiques au service de l'innovation dans les entreprises" pour transformer les inventions en innovation et injecter de nouvelles problématiques au cœur de la recherche en mathématiques appliquées, incitant aux dialogues entre les différentes branches des mathématiques et, plus loin, avec les autres disciplines. Il a ainsi rejoint le réseau des instituts Carnot.

En résumé, dans le cadre du développement de la recherche partenariale entre laboratoires publics et les entreprises, le label Carnot a pour but de favoriser le transfert de technologies et le développement de l'innovation. Il est attribué à des structures de recherche publique, les instituts Carnot, qui mènent simultanément des activités de recherche amont, propres à renouveler leurs compétences scientifiques et technologiques, et une politique volontariste en matière de recherche partenariale au profit du monde socio-économique.

Organisation L'institut Carnot SMILES est un institut public de recherche spécialisé en modélisation mathématique, simulation numérique, optimisation, et science des données, tourné vers la recherche partenariale avec les entreprises. Ses tutelles académiques sont Sorbonne Université (fusion de Paris 4 et 6), l'Université Paris Diderot (Paris 7) et le CNRS. Il rassemble des équipes pluridisciplinaires (mécanique des structures et des fluides, acoustique, biologie, chimie, électronique, physique...) autour des mathématiciens (modélisation, analyse numérique, optimisation, statistiques, probabilités), afin d'apporter une réponse globale aux défis technologiques complexes des entreprises. Le Carnot SMILES compte trois cents chercheurs en son sein, issus du Laboratoire Jacques-Louis Lions (LJLL) et de l'Institut des Sciences, du Calcul et des Données (ISCD). La force du Carnot SMILES réside dans le fait qu'il s'est doté de moyens humains qui lui permettent de répondre de manière professionnelle et réactive aux enjeux de R&D des entreprises :

— Un facilitateur qui fait le lien entre les mondes académique et industriel, va à la rencontre des entreprises et sonde leurs besoins de R&D. Il identifie, avec l'équipe de direction du Carnot Smiles, ensuite les chercheurs qui sont pertinents dans le domaine ciblé.

— Cinq ingénieurs de recherche dédiés à la recherche partenariale avec les entreprises, appelés ingénieurs Carnot, qui sont docteurs en mathématiques appliquées. Ils forment des équipes-projets avec les chercheurs de l'institut lors des collaborations de recherche avec des entreprises, et concentrent leurs efforts sur : l'élaboration de modèles mathématiques, le développement d'algorithmes, et la rédaction des rapports d'étude à destination des partenaires industriels. Les ingénieurs Carnot tendent un pont entre deux échelles de temps : le temps de l'entreprise, et le temps de la recherche, et deux échelles de culture : ingénierie et recherche. En effet, les ingénieurs Carnot assurent un lien permanent avec l'entreprise, tant au niveau de la gestion du projet que de l'approche technique, tandis que l'expertise du chercheur est mobilisée lors des étapes critiques du projet. C'est à cette nouvelle aune que l'intérêt de travail et leur perspectives de promotion sont évalués, ce qui peut donner des perspectives nouvelles de carrière.

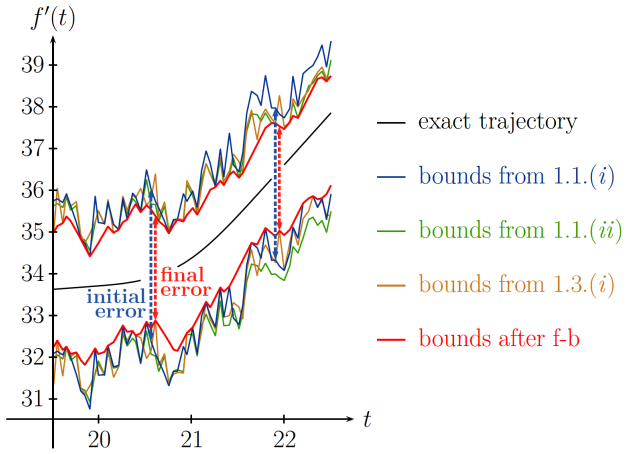
Exemples de réalisation Nous avons travaillé avec une entreprise en charge du transport de marchandises périssables par des véhicules autonomes. L'objectif a été

d'optimiser le passage des véhicules pour diminuer le temps entre la disponibilité du produit et sa livraison, en prenant en compte la signalisation, la disponibilité, la taille et la conduite des véhicules autonomes. Faisant suite à une démarche initiée deux années auparavant auprès de l'entreprise, des responsables de la recherche et l'innovation sont venus nous rencontrer pour évoquer le problème de l'optimisation du flux de transport. Le modèle élaboré lors de séances de travail, internes à l'Institut, autour de plateau-déjeuners a rapidement été mis en forme et implémenté pour donner les premiers résultats d'optimisation de transport direct, d'une série de N produits x_i, $i = 1, \dots N$, d'un endroit A_i vers un endroit B_i. Cette première étude a été complétée pour prendre en compte la gestion de l'énergie et d'autres contraintes "de terrain" propre à une configuration opérationnelle et a permis de démontrer l'amélioration de notre modélisation.

Ces études ont été poursuivies par une autre problématique, celle de la détermination fiable, précise et en temps réel de la position et la vitesse des véhicules autonomes. Les critères de sécurité absolu ont imposé de trouver des solutions alternatives à l'utilisation de filtres de Kalman. Le problème est formulé de façon très simple puisqu'il s'agit de donner des bornes précises sur la position, la vitesse des véhicules autonomes en continu et en temps réel à partir de données de positions séquencées de façon assez régulières et données dans des intervalles de "confiance infinie". L'hypothèse proposée est que l'une des dérivées de la vitesse est bornée. La mise en cohérence des données séquencées (en configuration linéaire, surfacique ou tridimensionnelle) a permis de proposer une approche aussi certaine que les données séquencées avec un gain de précision important. Un exemple de bornes sur la vitesse d'un véhicule en configuration linaire est donné dans la figure ci-dessus, les calculs prenant moins de 0,04s pour traiter des échantillons de 20 mesures arrivant par paquets toutes les secondes. Ces traitements peuvent bien sûr être étendus à des donnés surfaciques ou tridimensionnelles.

		moyenne	min/max
erreur sur f'' (en m/s^2)	initiale	2.27	2.00/2.37
	finale	1.81	1.24/2.30
erreur sur f' (en km/h)	initiale	3.51	2.48/3.68
	finale	2.35	1.29/3.54
erreur sur f (en m)	initiale	0.10	0.10/0.10
	finale	0.07	0.01/0.10

Un autre exemple concerne le contrat avec l'entreprise Urgo sur le sujet "compression" et traite des effets de la compression d'une bande élastique sur un membre. Dans un premier temps, on s'est concentré sur l'écriture de modèles permettant de reproduire numériquement les mesures de pression effectuées par Urgo sur l'un



de leurs appareils de test, sur la base de valeurs numériques de constantes matérielles fournies par Urgo. Il s'est agit tout d'abord de modèles 1d, soit en élasticité précontrainte linéarisée, soit en visco-élasticité, sans frottement sur le support, puis avec frottement sur le support. Dans un deuxième temps, on a considéré le cas de deux bandes superposées avec frottement sur le support et entre les deux bandes, ce qui correspond à la situation de chevauchement de deux enroulements d'une même bande sur le membre, cas qui intéresse particulièrement Urgo. En plus de son intervention au niveau administratif, la contribution du tremplin Carnot Smiles a été déterminante pour la mise en œuvre de la partie numérique de ce dernier cas. Le succès de ce contrat permet d'envisager une poursuite sous forme de thèse Cifre. Des collaborations sur d'autres objectifs d'intérêt pour l'entreprise Urgo et les chercheurs du laboratoire sont en cours de finalisation.

De nombreuses autres contrats portent bien évidemment sur le traitement de données massives, l'assimilation de ces données et les prévisions que l'on peut en tirer avec des approches par forêts aléatoires ou apprentissage profond et font intervenir des chercheurs statisticiens ou en informatique. Nous insistons en particulier pour adjoindre aux approches purement d'apprentissage des modélisations et des notions de réduction de complexité qui améliorent la pertinence des algorithmes. Un exemple de tel traitement porte sur une collaboration en cours sur l'assimilation et l'extrapolation de données par des méthodes de réduction de modèle à partir des données d'une maquette d'un bâtiment civil ayant la vocation de permettre le recalage de paramètres pour les réalisation à la taille réelle.

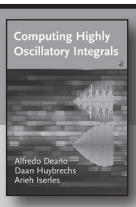
Conclusion Le concept d'Institut Carnot, créé en 2006, est similaire à celui des Institut Fraunhofer en Allemagne qui date de 1973, il a pour vocation le soutien à la recherche appliquée. L'activité dans un Institut Carnot se place donc résolu-

ment dans le cadre du développement de la recherche mais inclut la maturation de technologies afin qu'elles puissent s'intégrer rapidement dans les activités de production de l'entreprise. Une nouvelle échelle est donc dans l'esprit des collaborations qui s'y déroulent : c'est l'échelle TRL (en anglais technology readiness level, qui peut se traduire par niveau de maturité technologique). C'est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc. mais aussi les algorithmes), qui s'étend de 1 à 9, où les théorèmes mathématiques se trouvent sans doute au niveau 0. L'un des objectifs de l'Institut Carnot SMILES est de transformer un certain nombre de ces théorèmes en réalisation pouvant figurer sur les niveaux jusque 3, et aussi de procurer en retour des problèmes ouverts nécessitant de nouveaux développements théoriques. Ce cadre, implique comme on l'a dit plus haut de nouveaux acteurs : les ingénieurs Carnot, et participe donc aux échanges entre mathématiciens des secteurs académiques et industriels pour un enrichissement mutuel. Comme le notait[2] Helmuth Neunzert, à la base de la création du premier Institut Fraunhofer de Mathématiques, il est important d'entretenir ce contact et cet enrichissement en direction des mathématiciens des secteurs industriels que nous avons formés dans nos universités ou nos écoles et qui représentent l'avenir de la majorité de étudiants et élèves que nous formons.

2. au cours de la table ronde de cloture ou il était invité lors du congrès des mathématiciens à Madrid en 2006 et dont la thématique était "Are pure and applied mathematics drifting apart ?" https ://www.mathunion.org/icm/icm-videos/icm-2006-videos-madrid-spain/icm-madrid-videos-29082006

Notable Titles in **Applied Math** from SIAM

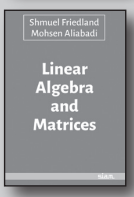
Society for Industrial and Applied Mathematics



Computing Highly Oscillatory Integrals
Alfredo Deaño, Daan Huybrechs, and Arieh Iserles

Highly oscillatory phenomena range across numerous areas in science and engineering and their computation represents a difficult challenge. Research in the past 15 years resulted in a range of very effective and affordable algorithms for highly oscillatory quadrature. This is the only monograph bringing together the new body of ideas in this area in its entirety.

2018 • x + 180 pages • Softcover • 978-1-611975-11-6
List $79.00 • Member $55.30 • OT155



Linear Algebra and Matrices
Shmuel Friedland and Mohsen Aliabadi

This introductory textbook grew out of several courses in linear algebra given over more than a decade and includes such helpful material as constructive discussions about the motivation of fundamental concepts; many worked-out problems in each chapter; and topics rarely covered in typical linear algebra textbooks.

2018 • xvi + 285 pages • Softcover • 978-1-611975-13-0
List $69.00 • SIAM Member $48.30 • OT156

Elementary Numerical Analysis: *An Algorithmic Approach*
S. D. Conte and Carl de Boor
Classics in Applied Mathematics 78

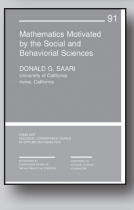
This textbook provides a thorough and careful introduction to the theory and practice of scientific computing at an elementary, yet rigorous, level, from theory via examples and algorithms to computer programs.

2017 • xxiv + 456 pages • Softcover • 978-1-611975-19-2
List $76.00 • SIAM Member Price $53.20 • CL78

Mathematics Motivated by the Social and Behavioral Sciences
Donald G. Saari
CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 91

The author explains new mathematical approaches to the social and behavioral sciences in an introductory, expository, and accessible manner and explores new ways to handle dynamics and evolutionary game theory, to identify subtleties of decision and voting methods, and to recognize unexpected modeling concerns.

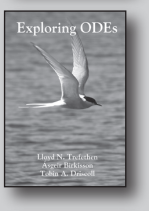
2018 • xviii + 171 pages • Softcover • 978-1-611975-17-8
List $59.00 • SIAM Member $41.30 • CB91

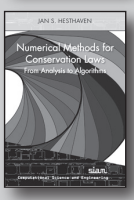


Exploring ODEs
Nick Trefethen, Ásgeir Birkisson, and Tobin A. Driscoll

Exploring ODEs is a textbook of ordinary differential equations for advanced undergraduates, graduate students, scientists, and engineers. It is unlike other books in this field in that each concept is illustrated numerically via a few lines of Chebfun code. There are about 400 computer-generated figures in all, and Appendix B presents 100 more examples as templates for further exploration.

2018 • viii + 335 pages • Hardcover • 978-1-611975-15-4
List $64.00 • SIAM Member $44.80 • OT157

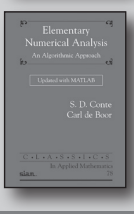




Numerical Methods for Conservation Laws: *From Analysis to Algorithm*
Jan S. Hesthaven
Computational Science and Engineering 18

This book offers the first comprehensive introduction to modern computational methods and their analysis for hyperbolic conservation laws, building on intense research activities for more than four decades of development.

2017 • xvi + 570 pages • Softcover • 978-1-611975-09-3
List $89.00 • Member $62.30 • CS18



SIAM
Society for Industrial and Applied Mathematics

ORDER at bookstore.siam.org

All prices are in US dollars.

Use your credit card (AMEX, Discover, MasterCard, or VISA) when ordering online, by phone at +1-215-382-9800 worldwide or toll free at 800-447-SIAM in USA and Canada, or by fax at +1-215-386-7999 · Send check or money order to: SIAM, Dept. BKMA18, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688. Members and customers outside North America can also order through SIAM's distributor, the Eurospan Group, at www.eurospanbookstore.com/siam.

3/18

Parité en mathématiques

A l'heure à laquelle le monde mathématique a besoin plus que jamais des compétences des femmes, malheureusement insuffisamment représentées à différentes échelles pour des raisons qu'on est loin d'avoir disséquées completement, pour encourager le débat et faire évoluer les choses, on pensait qu'une nouvelle rubrique *Parité en mathématiques* pourrait qu'apporter et stimuler une reflexion constructive suivie des actions concrètes. Les deux premières contributions[1] de cette rubrique appartiennent à deux de nos collègues qui ont récemment contribué à la sensibilisation de notre communauté aux questions de parité : Indira Chatterji (professeur et IUF junior) et Jérôme Le Rousseau (professeur).

De l'autre côté du plafond de verre

Communiqué par Indira Chatterji, Université Côte d'Azur

Nouveau Monde, tea time post-colloquium : *"I will think of you in the shower"*. Ce ponte des mathématiques françaises, qui fait la fierté de notre communauté et qui incarne la classe pour beaucoup d'entre nous, s'adresse à une jeune étudiante qui s'approche de lui pour un selfie. Je sais. Il ne l'a pas violée. Certains diront même que c'est simplement là la manière française de conter fleurette à une jeune femme. Ou alors qu'elle l'a cherché avec son selfie. Peut-être qu'elle n'a pas relevé, mais plus probablement cette phrase va résonner avec des évènements passés et entamer son enthousiasme pour les mathématiques. ♯MeToo. Le privilège masculin, c'est de ne pas résonner et ne pas se faire entamer. Rien de très objectif, chiffrable, tangible. Une amie journaliste à qui je raconte cette anecdote me dit que c'est vraiment léger comparé à son milieu. Tellement léger que Ruth Charney, ancienne présidente de l'AWM (Association for Women in Mathematics) dit ne jamais avoir personnellement ressenti de sexisme, mais se rend compte de son existence en voyant la sous-représentation des femmes dans les comités éditoriaux de grandes revues, ainsi que dans les universités d'élite. En France, cette discrimination sexiste est bien là, au vu et au su de nous tous :

En section 25, on compte 6% de PR contre 18% de MCF, et en 26, 18% de PR contre 39% de MCF (2016, voir [2]).

Selon Broze [2], en 2016 en section 25 nous étions tout confondu 1387 permanents, dont 189 femmes. Nous sommes 530 PR, il devrait donc y avoir 72 femmes. Or nous ne sommes que 33, il y manque donc 39 femmes en PR25. En section 26 ça donne 174 et elles ne sont que 104, il y manque donc 70 femmes en PR26. Et ça,

1. Déjà parues dans deux numéro récents de La Gazette : http://smf.emath.fr/files/155-bd.pdf et http://smf.emath.fr/files/156-bd.pdf

c'est la partie visible de l'iceberg, qui n'est pas en train de fondre car en dix ans la part des femmes a diminué. J'aurais voulu continuer cet article avec la proportion des femmes qualifiées sur les 10 dernières années, le nombre moyen de candidatures et d'auditions, le nombre moyen d'articles et d'indices de citations par année de carrière, afin de pouvoir énoncer un résultat suivi d'une preuve qui se termine par un □. Mais je n'ai rien de tout ça, et je n'ai pas les ressources pour trouver ces chiffres. Je n'ai qu'une théorie, reposant sur quelques observations.

Sous le plafond de verre. Le *plafond de verre* (de l'anglais *glass ceiling*), est un terme qui désigne une barrière invisible au sein d'une hiérarchie qui empêche les femmes ou les minorités d'accéder aux niveaux supérieurs. C'est la barrière invisible qui empêche une centaine de mathématiciennes françaises de passer PR. J'ai demandé autour de moi à quoi est dû ce plafond de verre : elles postulent moins largement, moins longtemps, elles sont moins compétitives, elles préfèrent les gosses, elles se sont fait saquer. On ne sait pas trop et on s'en fiche un peu. Ces femmes ne sont pourtant pas virtuelles, ce sont des collègues qu'on connaît bien, on déjeune ensemble, on discute de mathématiques, d'enseignement, de politique du laboratoire, de tout ou de rien. Elles ont un nom, des théorèmes, des étudiants, des projets de recherche. Et des perspectives de carrière réduites à peau de chagrin. Bien sûr le système même du passage MCF à PR fait qu'il y aura toujours des gens qui veulent passer PR et qui n'y arriveront pas pour des raisons non mathématiques, mais il serait équitable que ça arrive proportionnellement autant aux hommes qu'aux femmes.

Ma théorie. Je pense qu'une proportion non négligeable de cette centaine de mathématiciennes, a été discriminée, de manière plus ou moins active. Et ce, malgré le réel effort d'impartialité dans nos jugements scientifiques que nous (les rang A) faisons. Mais il n'est pas exclu que nous ayons discriminé sans le faire exprès, et ça semble même assez plausible : *Implicit and unconscious bias* est le terme anglais, et c'est un phénomène assez bien documenté. On notera par exemple l'expérience [4] où pour un même CV montré à des directeurs de laboratoire, lorsque le prénom était masculin le salaire proposé était en moyenne plus élevé que lorsque le prénom était féminin (des expériences similaires ont été faites avec des noms à connotation racisée).

D'autres théories. En demandant autour de moi, j'entends souvent des explications détournées qui impliquent que les femmes MCF sont plus faibles que leurs homologues masculins. Cela pré-suppose que l'on puisse mettre de manière canonique un ordre total sur l'ensemble des dossiers. Or on sait bien que ce n'est pas le cas : un dossier n'a pas une seule valeur réelle, mais un ensemble de valeurs, qui dépendent du nombre d'articles, de leur longueur, des co-auteurs, des journaux, des affiliations, des responsabilité et aussi des experts qui examinent les dossiers. Il est facile de voir qu'il n'existe pas d'ordre total canonique sur un tel ensemble.

Dans la réalité de la plupart des recrutements, lorsqu'on a éliminé les dossiers les plus faibles et fait le deuil des plus forts, on se retrouve avec un nuage de très bons dossiers, tous plus ou moins équivalents. Et puis on va en choisir un. Mais pas au hasard : après des délibérations souvent politiques, quelques fois très émotionnelles et jamais purement mathématiques. Difficile dès lors d'éliminer l'hypothèse de la discrimination. Bien sûr, une autre hypothèse intéressante c'est qu'elles postulent moins longtemps et moins largement que les hommes. C'est une hypothèse très vérifiable, mais pas par moi. Mais je serais étonnée que les stratégies de candidatures suffisent à elles seules à expliquer le plafond de verre.

Sexisme et indifférence. Ce qui devient du sexisme, c'est ce qu'on fait de ce constat : notre indifférence pour cette question, et nos réactions face à ces collègues. J'ai entendu dire plus d'une fois de telle ou telle autre MCF qu'elle n'avait pas vraiment besoin de cette promotion PR car son mari gagnait suffisamment. Je n'aurais pas relevé ce commentaire pour cet article s'il ne m'avait pas été rapporté à plusieurs reprises. La plupart d'entre nous passons un temps considérable à demander des bourses et des promotions dont on n'a pas vraiment besoin, mais nous le faisons car nous voulons plus de visibilité pour nos mathématiques et avons besoin de la reconnaissance de nos pairs. Ne pas reconnaître qu'une femme MCF a ce même besoin est insultant.
J'ai aussi entendu dire qu'augmenter la part des femmes en mathématiques n'augmenterait pas le niveau car on est déjà arrivé à saturation. C'est une vision tellement triste des mathématiques. Même si la plupart des mathématiques produites sont surtout le fruit d'un intense labeur qui pourrait être fourni également par un homme ou une femme, ce sont ces quelques rares et superbes idées si originales qui font la beauté du sujet. Se priver de la moitié du vivier c'est se priver de la moitié de ces perles.

Au-dessus du plafond de verre. Depuis mon arrivée en France, au-dessus du plafond de verre, je ne peux m'empêcher de remarquer une sur-représentation de *"filles de"* et/ou *"femmes de"* mandarins. J'ai pourtant toujours eu l'impression que c'était pour moi plutôt un désavantage : étudiante j'étais *"fille de"*, je me suis sentie peu intégrée et me suis exilée dès que possible. Lorsque je suis devenue *"femme de"* j'ai divisé mon salaire en deux et augmenté mon enseignement. Mais après discussions avec quelques collègues et amies, je commence à croire que d'être *"fille de / femme de"* m'a offert un privilège que je n'avais jamais remarqué. Revenons un instant au vieux cochon du début. Il n'aurait probablement jamais fait cette remarque si cette étudiante avait été la fille ou la femme d'un de ses amis. De manière similaire, les remarques déplacées sur une *"fille de / femme de"* mandarin me semblent plus rares que sur les autres femmes (même si loin d'être inexistantes) : est-ce que d'être *"fille de / femme de"* m'aurait offert le privilège masculin d'exercer mon métier en étant suffisamment peu discriminée pour que ça ne déraille pas ma carrière ?

Ce que nous disent les mathématiques. Selon Claire Mathieu, une des auteurs de [1] et professeur au Collège de France, les connaissances actuelles ne sont pas suffisantes pour avancer une conjecture sur la raison du plafond de verre, mais son article montre qu'il est possible de proposer un modèle pour définir et analyser cette question rigoureusement. Leur article modélise le phénomène du plafond de verre et montre que l'homophilie, combinée avec la minorité entrante des femmes et le système de sélection, suffisent à le créer. L'homophilie est un phénomène social bien documenté, qui consiste à préférer les gens qui nous ressemblent, et qui, en présence d'une majorité d'hommes, a le même effet discriminatoire que le sexisme. Même si dévisser rigoureusement tous les mécanismes qui forment le plafond de verre s'avère être une question trop difficile, ce qui est à notre portée maintenant, c'est d'étudier les dossiers de ces femmes qui ne passent pas le plafond.

En conclusion... Il n'y a pas besoin d'être mathématicien pour comprendre que ce n'est pas à coups de bandes dessinées et de bonnes pratiques sur des postes gelés qu'on va faire bouger les choses pour nos collègues discriminées. J'ai participé en 2011 à un des comités PES qui assuraient la transition PEDR. Un comité similaire pourrait examiner les dossiers des femmes MCF qui auraient aimé passer PR mais qui ne passent pas, et faire convertir quelques postes de MCF en postes PR. Ça ne coûterait rien de plus que le comité en soi, vu qu'une MCF est payée autant qu'une PR2, et ça nous permettrait de passer de 6 à 14% de femmes PR25, ce qui serait équitable. Pour conclure sans conclusion, vous remarquerez que je ne dis rien sur la centaine de collègues masculins qui sont passés PR grâce à cette discrimination. Les expériences de [3] suggèrent que dans un environnement majoritairement masculin, l'arrivée de femmes dans la hiérarchie provoque une réaction hostile de la part des hommes les plus faibles. Ça correspond assez bien à mon expérience.

Remerciements. Je remercie les collègues qui ont bien voulu discuter de ce sujet avec moi. Iels se reconnaîtront.

Références

[1] C. Avin et al. *Homophily and the glass ceiling effect in social networks.* Proceedings of the 2015 Conference on Innovations in Theoretical Computer Science. ACM. 2015, p. 41-50.

[2] L. Broze. https://tinyurl.com/ycf7yt3g.

[3] M. M. Kasumovic et J. H. Kuznekoff. *Insights into sexism : male status and performance moderates female-directed hostile and amicable behaviour.* PloS one 10, no 7 (2015), e0131613.

[4] C. A. Moss-Racusin et al. *Science faculty's subtle gender biases favor male students.* Proceedings of the National Academy of Sciences 109, no 41 (2012), p. 16474-16479.

Recension livre
Seximsme man contre le sexisme, par I. Collet et Phiip

Communiqué par Jérôme Le Rousseau, Université Paris XIII

La scène se déroula quelque part en France, dans les années 2010. Au cours d'un comité de sélection, deux mathématiciens de sexe masculin commentaient le dossier d'une candidate. Nous les appellerons collègues M1 et M2.

Collègue M1 : « C'est un bon dossier, un très bon dossier », et d'ajouter « à tout point de vue d'ailleurs... »

La remarque dut sembler bien trop fine à collègue M2 qui ressentit le besoin de préciser :

Collègue M2 : « Oui, elle est mignonne, ce qui ne gâche rien. »

Somme toute, n'a-t-on pas l'habitude d'entendre ce type de remarque sans conséquence dans notre milieu ? Doit-on s'y attarder ? La meilleure réaction n'est-elle pas tout simplement d'ignorer ces propos ? J'entends déjà des lectrices et certains lecteurs s'étouffer sur le « sans conséquence ».

Une bonne question à ce stade est peut-être la suivante : quel mathématicien peut prétendre ne jamais s'être aventuré sur les sentiers sinueux du sexisme ordinaire ? Car le sexisme peut se décliner sous beaucoup de formes et peut se révéler très insidieux. Ai-je déjà eu un comportement sexiste ? C'est fort probable. Ai-je pu le faire sans m'en rendre compte ? Bien que cela ne constitue pas une excuse, oui, c'est fort probable aussi et cela fait bien partie du problème et de sa complexité.

Un autre constat important est le suivant : parler du sexisme n'est pas une chose simple. Même rassembler un auditoire autour de cette question est une gageure en soi. La dernière journée parité organisée à l'IHP où le sujet a largement été traité s'est déroulée devant un assemblée très (trop) largement féminine. Pourtant, la question concerne tout autant les hommes que les femmes. Et elle est d'autant plus complexe que l'énonciation même du sexisme, de ses manifestations, de ses causes est tout sauf triviale. Une raison pour cela réside dans la perception très différente que les hommes et les femmes ont du sexisme. Là où un groupe ne verra qu'une blague potache, l'autre y verra une vraie marque de sexisme. Pour revenir à l'exemple du dialogue de nos collègues M1 et M2, ce ne furent pas des signes de ravissement que je pus lire sur les visages de nos collègues F1, F2 et F3. Je n'ai certainement pas besoin de préciser que nos collègues F1, F2 et F3 sont des femmes.

Que faire alors ? Et comment ? La bonne voie est certainement celle de la sensibilisation et de l'éducation dans une communauté où l'intelligence prime. Faisons ce pari. Alors qu'une journée comme la journée parité ne touche directement qu'un public restreint, un livre qui allierait une présentation de nombreuses formes de

sexisme, spécialisé sur les problématiques telles qu'elles apparaissent dans la communauté scientifique serait une excellente idée. Si ce livre pouvait se révéler drôle, facilitant ainsi sa lecture et permettant de délivrer son contenu d'une manière non professorale, ce serait d'autant mieux. On pourrait le trouver dans les salles de café de nos laboratoires, nous pourrions nous le prêter, échanger dessus. Il prêterait à sourire mais aussi à réfléchir.

Réjouissons nous car ce livre existe désormais. Isabelle Collet et Phiip l'ont écrit. Isabelle Collet, initialement informaticienne, sait de quoi elle parle : elle est titulaire d'un doctorat en sciences de l'éducation avec une thèse sur le genre et l'informatique. De son coté, Phiip est dessinateur, ce qui a permis à leur livre de prendre partiellement la forme d'une bande dessinée. Leur rencontre s'est faite à la journée parité que j'évoquais précédemment, et l'idée de ce livre a rapidement germé. La facette humoristique qui accompagne ce livre permet de désamorcer certains obstacles à une libre parole sur le sexisme. C'est une des premières vertus de ce livre. La seconde est de pointer les sources mêmes du sexisme. Un cadre culturel et historique est posé et des constats factuels chiffrés mis en avant. Le livre se nourrit aussi de nombreux témoignages récents issus de notre communauté mathématique.

Vous pourrez y apprendre que c'est, entre autres, le *déni* qui fait perdurer les scènes similaires à celle que je décris plus haut, le refus inconscient de reconnaître que le sexisme est plein de conséquences. Le discours d'Isabelle Collet est on ne peut plus clair :

> *Une plaisanterie sexiste pourrait être inoffensive si elle ne faisait pas écho à un système discriminatoire réel* [...]. *À partir du moment où elle a été proférée dans un contexte professionnel elle est discriminante.*
>
> [...] *les plaisanteries ou remarques sexistes rappellent quotidiennement aux femmes la place que la société leur donne...*

Les conséquences dans le vécu de nos collègues femmes, et celui de toutes celles qui ont été découragées, sont très importantes. Ce livre met très bien en avant le lien qui existe entre le sexisme que les femmes rencontrent et la proportion actuelle tristement faible des mathématiciennes dans notre communauté.

Nous sommes tous et toutes concernés. Combattre le sexisme commence par son identification et c'est bien souvent là que le bât blesse. Changer les comportements passe avant tout par l'information et la sensibilisation de toute la communauté scientifique sur ces questions, en particulier la communauté mathématique. Cela relève d'une responsabilité individuelle mais aussi collective. Le livre d'Isabelle Collet et Phiip aidera à servir cet objectif. Achetez le, lisez le, partagez le.

SMAI Members:
JOIN SIAM®

AT A 30% DISCOUNT!

If you live outside the United States, join SIAM as a reciprocal member and become part of our international and interdisciplinary community of educators, practitioners, researchers, and students from more than 100 countries working in industry, laboratories, government, and academia.

SIAM OFFERS YOU:

- Subscriptions to *SIAM News* and *SIAM Review*
- Discounts on SIAM books, journals, and conferences
- Eligibility to join SIAM activity groups
- SIAM Unwrapped (member e-newsletter)
- The ability to nominate two students for free membership
- Eligibility to vote for or become part of SIAM leadership
- Eligibility to nominate or to be nominated as a SIAM Fellow

GO TO WWW.SIAM.ORG/JOINSIAM TO JOIN ONLINE AS A RECIPROCAL MEMBER AND RECEIVE A 30% DISCOUNT.

JOIN TODAY
www.siam.org/joinsiam

SOCIETY for INDUSTRIAL and APPLIED MATHEMATICS

3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA
Phone: +1-215-382-9800 · Fax: +1-215-386-7999 · membership@siam.org · www.siam.org

11/17

Leslie Fox Prize 2017 - Nicole Spillane

Selon Wikipedia (https://fr.wikipedia.org/wiki/Prix_Leslie_Fox) Le Prix Leslie Fox (Leslie Fox Prize for Numerical Analysis) est une récompense mathématique décernée tous les deux ans par l'Institute of Mathematics and its Applications (IMA) depuis 1985 en l'honneur du mathématicien Leslie Fox (en) (1918-1992). Le prix récompense de jeunes analystes numériques dans le monde entier, toute personne ayant moins de 31 ans et des articles proposés à la publication. Un comité sélectionne les articles, invite une liste de candidats à donner une conférence lors du Leslie Fox Prize meeting, puis décerne le Premier Prix et le Second Prix en se basant sur *mathematical and algorithmic brilliance in tandem with presentational skills*. En 2017, le premier prix a été gagné par Nicole Spillane, CR CNRS au CMAP de l'Ecole Polytechnique.

Une méthode de décomposition de domaine améliorée par multipréconditionnement

Communiqué par Nicole Spillane[1]
CNRS, CMAP, École Polytechnique.

Le but de cette contribution est de donner un aperçu des résultats de l'article [12] qui ont été présentés à la conférence Leslie Fox Prize Meeting en Juin 2017. Le cadre mathématique général est présenté dans l'article et il s'agit ici plutôt de présenter les idées et d'illustrer les concepts pour un problème d'élasticité linéaire résolu avec une méthode de décomposition de domaine appelée BDD pour Balancing Domaine Decomposition.
Tous les résultats numériques présentés ont été obtenus avec Freefem++ [5] et Octave [4]. Une implémentation plus récente de la méthode (en Python avec PETSc4py), ainsi que d'autres méthodes de décomposition de domaine (en particulier la méthode appelée GenEO [13, 14]), a été réalisée avec Loïc Gouarin [2]. Elle peut être téléchargée à l'adresse :

https://github.com/gouarin/GenEO

Introduction à la décomposition de domaine

Les méthodes de décomposition de domaines constituent une famille de solveurs linéaires pour les architectures de calcul parallèles. Elles partagent toutes l'idée de partitionner le domaine de simulation (qui est très grand) en sous-domaines, comme illustré dans la Figure 1. Chaque sous-domaine est ensuite affecté à un

1. nicole.spillane@cmap.polytechnique.fr
2. CNRS, CMAP, École Polytechnique, loic.gouarin@cmap.polytechnique.fr

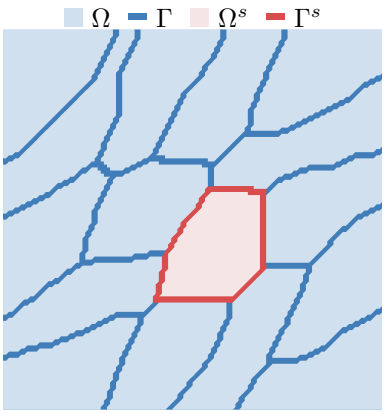


FIGURE 1: Partition du domaine global Ω en sous-domaines. On note Γ l'ensemble des interfaces entre sous-domaines, Ω^s le sous-domaine numéroté s et Γ^s sa frontière.

processeur et ceci permet de paralléliser les calculs. Les processeurs doivent, bien sûr, échanger de l'information pendant la phase de résolution afin que la solution trouvée soit bien celle du problème (dit global) de départ. Nous allons présenter ici la méthode de décomposition de domaine appelée BDD. Il s'agit d'une méthode très classique [7, 15] dont nous montrerons certaines limitations ainsi qu'une proposition d'amélioration qui permet de gagner en robustesse et en efficacité : le multipréconditionnement adaptatif.

Problème Modèle

Le problème modèle sera un problème d'élasticité linéaire en 2 dimensions. Soit Ω une partie ouverte de $\mathbb{R}^2$. Soit $\partial\Omega$ le bord du domaine Ω et $\partial\Omega_D \subset \partial\Omega$ une partie de ce bord où une condition de Dirichlet homogène est imposée. On introduit l'espace $\mathcal{V} := \{v \in H^1(\Omega) : v_{|\Omega_D} = 0\}$. Pour une force extérieure $f \in \mathcal{V}'$, la formulation variationnelle du problème d'élasticité linéaire est : trouver le champ des déplacements $v \in \mathcal{V}$ tel que

$$2\int_\Omega \mu\,\epsilon(u) : \epsilon(v)\mathrm{d}x + \int_\Omega \lambda(\nabla\cdot u)(\nabla\cdot v)\mathrm{d}x = \int_\Omega \langle f, v\rangle \quad \forall v \in \mathcal{V},$$

où deux produits scalaires sont définis par

$$\epsilon(u) : \epsilon(v) := \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2} \epsilon_{ij}(u)\epsilon_{ij}(v); \quad \epsilon_{ij}(u) := \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{x_j} + \frac{\partial u_j}{x_i}\right),$$

et

$$\langle f, v\rangle := \sum_{i=1}^{2} f_i v_i.$$

Les paramètres μ et λ sont appelés les coefficients de Lamé et décrivent les propriétés du matériau. Ils s'écrivent en fonction du module de Young E et du coefficient de Poisson ν du matériau selon

$$\lambda := \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)},\ \mu := \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

Supposons que l'on a discrétisé le problème avec des éléments finis de Lagrange $\mathbb{P}_1$ (linéaires) et que dans cette base le problème discrétisé s'écrit : trouver $\mathbf{u}_* \in \mathbb{R}^n$ tel que

$$\mathbf{K}\mathbf{u}_* = \mathbf{f}.$$

Il s'agit d'un système linéaire avec une matrice $\mathbf{K}$ symétrique définie et positive. On se place dans le cas où l'ordre n de la matrice est très grand et qu'il faut donc utiliser un solveur parallèle, par exemple une méthode de décomposition de domaine.

Méthode BDD (Balancing Domain Decomposition)

Au lieu d'appliquer un solveur directement pour la matrice $\mathbf{K}$, la méthode BDD consiste d'abord à réécrire le problème de façon à ce que les inconnues ne soient plus que les degrés de liberté sur l'interface Γ. On procède de la façon suivante :

$$\mathbf{K}\mathbf{u}_* = \mathbf{f}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{K}_{\Gamma\Gamma} & \mathbf{K}_{\Gamma I} \\ \mathbf{K}_{I\Gamma} & \mathbf{K}_{II} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{u}_{*,\Gamma} \\ \mathbf{u}_{*,I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{f}_\Gamma \\ \mathbf{f}_I \end{pmatrix} \text{ où } \begin{cases} \Gamma : \text{degrés de liberté sur l'interface } \Gamma, \\ I : \text{degrés de liberté intérieurs,} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\mathbf{u}_{*,I} = \mathbf{K}_{II}^{-1}(\mathbf{f}_I - \mathbf{K}_{I\Gamma}\mathbf{u}_{*,\Gamma}),$$

et

$$\underbrace{(\mathbf{K}_{\Gamma\Gamma} - \mathbf{K}_{\Gamma I}\mathbf{K}_{II}^{-1}\mathbf{K}_{I\Gamma})}_{:=\mathbf{A}}\mathbf{u}_{*,\Gamma} = \underbrace{\mathbf{f}_\Gamma - \mathbf{K}_{\Gamma I}\mathbf{K}_{II}^{-1}\mathbf{f}_I}_{:=\mathbf{b}}.$$

L'opérateur que l'on vient de noter $\mathbf{A}$ n'est autre qu'un complément de Schur. On appelle aussi cette procédure d'élimination de certains degrés de liberté la *condensation statique* de ces degrés de liberté. Dans la suite, le système linéaire qui doit être résolu est le système

$$\mathbf{A}\mathbf{u}_{*,\Gamma} = \mathbf{b}.$$

Si $\mathbf{M}$ est symétrique définie et positive on peut écrire sa factorisation de Cholesky :
La résolution du système linéaire $\mathbf{Mx} = \mathbf{f}$ se ramène à la résolution de deux systèmes linéaires triangulaires (descente puis remontée) :

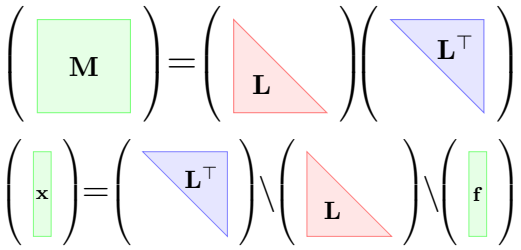


FIGURE 2: Illustration de la résolution du système linéaire $\mathbf{Mx} = \mathbf{f}$ par factorisation de Cholesky. Dans une première étape la matrice triangulaire inférieure $\mathbf{L}$ qui entre en jeu dans la factorisation est calculée et stockée, puis le système est résolu.

L'expression qui définit $\mathbf{A}$: $\mathbf{A} = \mathbf{K}_{\Gamma\Gamma} - \mathbf{K}_{\Gamma I}\mathbf{K}_{II}^{-1}\mathbf{K}_{I\Gamma}$ contient l'opérateur $\mathbf{K}_{II}^{-1}$ qui est l'inverse de la sous-matrice de la matrice de départ $\mathbf{K}$ que l'on obtient en extrayant les degrés de liberté qui se trouvent à l'intérieur d'un des sous-domaine. La taille de cette matrice est donc du même ordre de grandeur que la matrice de départ et il peut sembler étonnant de vouloir l'inverser alors que c'est trop coûteux pour $\mathbf{K}$. La raison pour laquelle c'est possible est que, ayant retiré l'interface Γ entre les sous-domaines, la matrice $\mathbf{K}_{II}$ a une structure par blocs et que son inversion consiste donc à inverser chacun des blocs. Ceci est possible car les sous-domaines sont choisis suffisamment petits pour permettre cette opération. En pratique, on ne calcule pas l'inverse des matrices, même petites, car ceci mène à la manipulation de matrices denses et à la propagation d'erreurs numériques. A la place, on calcule et on stocke la factorisation de Cholesky de chacun des blocs. Cette procédure est décrite brièvement dans la Figure 2.
En fait, l'opérateur $\mathbf{A}$ peut s'écrire entièrement avec des opérateurs locaux et des opérateurs d'interpolation. Pour chaque sous-domaine, indexé par $s \in [\![1, N]\!]$, introduisons, la matrice du problème restreint au sous-domaine Ω^s et notons la $\mathbf{K}^s$. Introduisons aussi l'écriture par blocs suivante :

$$\mathbf{K}^s = \begin{pmatrix} \mathbf{K}^s_{\Gamma^s\Gamma^s} & \mathbf{K}^s_{\Gamma^s I^s} \\ \mathbf{K}^s_{I^s\Gamma^s} & \mathbf{K}^s_{I^s I^s} \end{pmatrix} \text{ où } \begin{cases} \Gamma^s : \text{degrés de liberté sur le bord } \Gamma^s \text{ de } \Omega^s \ , \\ I^s : \text{degrés de liberté à l'intérieur de } \Omega^s. \end{cases}$$

L'opérateur $\mathbf{A}$ s'écrit alors comme une somme des compléments de Schur locaux :

$$\mathbf{A} = \sum_{s=1}^{N} \mathbf{R}^{s\top}\mathbf{S}^s\mathbf{R}^s \text{ où } \mathbf{S}^s := \mathbf{K}^s_{\Gamma^s\Gamma^s} - \mathbf{K}^s_{\Gamma^s I^s}(\mathbf{K}^s_{I^s I^s})^{-1}\mathbf{K}^s_{I^s\Gamma^s},$$

grâce aux opérateurs de restriction (global à local) $\mathbf{R}^s$ et de prolongement par zéro (local à global) $\mathbf{R}^{s\top}$:

$$\Gamma_s \underset{\mathbf{R}^s}{\overset{\mathbf{R}^{s\top}}{\rightleftarrows}} \Gamma.$$

Cette reformulation a un double intérêt. D'une part, elle fait apparaitre les calculs qui doivent être réalisés par chacun des processeurs. On voit en particulier que pour appliquer l'opérateur $\mathbf{A}$ à un vecteur il suffit

— de réaliser, en parallèle sur chacun des sous-domaines (ou des processeurs), les étapes suivantes : restriction du vecteur à la frontière Γ^s ; puis application de l'opérateur $\mathbf{S}^s$; puis prolongement par zéro à la frontière globale Γ,

— de sommer toutes les contributions ainsi obtenues. Cette dernière opération demande bien sûr de la communication entre les différents processeurs.

D'autre part, l'écriture de $\mathbf{A}$ sous forme d'une somme d'opérations dans les sous-domaines permet d'avoir une bonne intuition concernant le choix du préconditionneur pour BDD. Rappelons qu'un préconditionneur est une approximation de l'inverse de $\mathbf{A}$ qui est donnée au solveur itératif afin d'accélérer sa convergence. Ici, l'opérateur est une somme de compléments de Schur et il est donc naturel de choisir comme préconditionneur, la somme des inverses de ces compléments de Schur. On retrouve bien sûr dans l'expression les opérateurs d'interpolation (local $\leftrightarrow$ global) $\mathbf{R}^s$ et ${\mathbf{R}^s}^\top$. Le seul ingrédient nouveau est une famille de matrices diagonales $\mathbf{D}^s$ (pour $s \in [\![1, N]\!]$) qui forment une partition de l'unité, c'est-à-dire qui satisfont l'identité :

$$\sum_{s=1}^{N} {\mathbf{R}^s}^\top \mathbf{D}^s \mathbf{R}^s = \mathbf{I}.$$

Un choix possible est de définir les entrées de $\mathbf{D}^s$ (qui, rappelons le, sont uniquement sur la diagonale) comme étant la multiplicité de chaque degré de liberté, c'est-à-dire le nombre de sous-domaines auxquels il appartient. On peut interpréter les entrées de $\mathbf{D}^s$ comme étant des poids qui permettent de partager les vecteurs définis sur l'interface globale Γ entre les sous-domaines. Le choix de la multiplicité correspond à une répartition à parts égales entre les sous-domaines. De meilleurs choix existent qui tiennent notamment compte de la possibilité d'avoir des matériaux différents de chaque côté d'une interface.
Le préconditionneur pour BDD est définit de la façon suivante :

$$\mathbf{H} := \sum_{s=1}^{N} {\mathbf{R}^s}^\top \mathbf{D}^s {\mathbf{S}^s}^{-1} \mathbf{D}^s \mathbf{R}^s.$$

On commet en fait une imprécision importante dans l'expression précédente car l'inverse de la matrice $\mathbf{S}^s$ n'est en général pas défini. En effet, si on considère un sous-domaine Ω^s qui n'est pas concerné par les conditions aux limites du problème de départ (on parle de sous-domaine *flottant*) alors la forme bilinéaire locale qui sert à définir $\mathbf{K}^s$ a un noyau. Il s'agit en effet de

$$(u, v) \mapsto \int_{\Omega^s} (2\mu\, \epsilon(u) : \epsilon(v) + \lambda(\nabla \cdot u)(\nabla \cdot v))\, \mathrm{d}x,$$

dont le noyau est constitué des trois modes rigides du sous-domaine Ω^s. Ceci induit un noyau pour la matrice locale $\mathbf{K}^s$ et le complément de Schur $\mathbf{S}^s$ qui en découle.

Cette difficulté est inhérente aux méthodes de décomposition de domaines et on la contourne de la façon suivante :

— dans la définition du préconditionneur on remplace l'inversion de $\mathbf{S}^s$ par une pseudo-inversion (ce qui revient à résoudre un système linéaire à un élément du noyau près),

— on définit un opérateur de projection $\mathbf{A}$-orthogonal qui permet de se ramener à un problème bien posé.

Dans le reste de ce texte, on choisit d'écarter ce problème et de continuer à noter $\mathbf{S}^{s\,-1}$ comme si aucun sous-domaine n'était flottant. Dans les illustrations numériques, les noyaux des opérateurs ont été bien pris en charge et ceci n'influence pas la comparaison entre les méthodes car elles font toutes usage de cette astuce.

Illustration numérique et limitations de BDD

Examinons à présent les performances de BDD sur un problème modèle. Ce problème est illustré dans la figure 3 (haut) où deux matériaux sont présents et représentés par deux couleurs différentes. Les deux matériaux partagent le même coefficient de Poisson $\nu = 0.4$ mais ont des modules de Young différents : $E = 10^7$ et $E = 10^{12}$. La figure montre deux façons possibles de partitionner le domaine en $N = 81$ sous-domaines. La première est d'effectuer une partition régulière qui suit les hétérogénéités dans les matériaux et mène à des sous-domaines homogènes (à l'intérieur desquels E est constant). La deuxième partition est obtenue avec un partitionneur de graphe automatique appelé Metis qui ne tient pas compte des hétérogénéités dans les matériaux. Les graphes représentés dans la figure 3 montrent l'évolution de l'erreur lorsque le problème est résolu avec BDD dans chacune de ces situations. On remarque que les profils de convergence sont très différents. Dans le cas où la partition en sous-domaines suit les hétérogénéités dans les matériaux, la convergence est très rapide : seulement 11 itérations sont nécessaires. Dans le cas où la partition en sous-domaines ne tient pas compte des matériaux, la convergence est beaucoup plus lente : 140 itérations. Plus en détails, on remarque d'abord une certaine stagnation pendant la première centaine d'itérations puis une convergence rapide. Ceci est caractéristique [11, 16] de la convergence de la méthode du gradient conjugué préconditionné pour un système qui a un conditionnement élevé.

Le constat que l'on peut faire à partir de cette courte étude numérique est que la méthode BDD est très bien adaptée pour les problèmes avec des sous domaines homogènes. On peut d'ailleurs le démontrer théoriquement à condition de faire un certain nombre d'hypothèses. Par exemple, il faut que les sous domaines aient des aspects de forme qui ne soient pas trop grands et que le maillage ne soit pas trop irrégulier [15]. Ces hypothèses sont très restrictives pour les problèmes qui viennent de la physique ou de l'industrie. Il n'est pas réaliste de les imposer et on souhaite à présent proposer un solveur linéaire, basé sur BDD, qui ne nécessite

pas ces hypothèses pour converger rapidement. C'est l'ambition de la méthode du gradient conjugué multipreconditionné adaptatif.

Méthodes du gradient conjugué préconditionné et multipréconditionné (PCG et MPCG)

Comme son nom l'indique la méthode du gradient conjugué multipréconditionné (MPCG) est basée sur la méthode du gradient conjugué préconditionné (PCG) [6]. Présentons ces deux algorithmes en les plaçant côte à côte afin de rendre apparente la ressemblance.

	PCG pour $\mathbf{Ax}=\mathbf{b}$ préconditionné par $\mathbf{H}$	**MPCG pour $\mathbf{Ax}=\mathbf{b}$ multipréconditionné par $\mathbf{H}^{(1)}$, … , et $\mathbf{H}^{(N)}$**
1	$\mathbf{x}_0$ donné ;	$\mathbf{x}_0$ donné;
2	$\mathbf{r}_0 = \mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}_0$;	$\mathbf{r}_0 = \mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}_0$;
3	$\mathbf{z}_0 = \mathbf{H}\mathbf{r}_0$;	$\mathbf{Z}_0 = \left[\mathbf{H}^{(1)}\mathbf{r}_0 \mid \ldots \mid \mathbf{H}^{(N)}\mathbf{r}_0\right]$;
4	$\mathbf{p}_0 = \mathbf{z}_0$;	$\mathbf{P}_0 = \mathbf{Z}_0$;
5	**for** $i = 0, 1, \ldots,$ *conv.* **do**	**for** $i = 0, 1, \ldots,$ *convergence* **do**
6	$\quad \mathbf{q}_i = \mathbf{A}\mathbf{p}_i$;	$\quad \mathbf{Q}_i = \mathbf{A}\mathbf{P}_i$;
7	$\quad \alpha_i = (\mathbf{q}_i^\top \mathbf{p}_i)^{-1}(\mathbf{p}_i^\top \mathbf{r}_i)$;	$\quad \boldsymbol{\alpha}_i = (\mathbf{Q}_i^\top \mathbf{P}_i)^{-1}\,(\mathbf{P}_i{}^\top \mathbf{r}_i)$;
8	$\quad \mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \alpha_i \mathbf{p}_i$;	$\quad \mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \mathbf{P}_i\boldsymbol{\alpha}_i$;
9	$\quad \mathbf{r}_{i+1} = \mathbf{r}_i - \alpha_i \mathbf{q}_i$;	$\quad \mathbf{r}_{i+1} = \mathbf{r}_i - \mathbf{Q}_i\boldsymbol{\alpha}_i$;
10	$\quad \mathbf{z}_{i+1} = \mathbf{H}\mathbf{r}_{i+1}$;	$\quad \mathbf{Z}_{i+1} = \left[\mathbf{H}^{(1)}\mathbf{r}_{i+1} \mid \ldots \mid \mathbf{H}^{(N)}\mathbf{r}_{i+1}\right]$;
	$\quad$ `// Préconditionnement`	$\quad$ `// Multipréconditionnement`
11	$\quad \beta_i = (\mathbf{q}_i^\top \mathbf{p}_i)^{-1}(\mathbf{q}_i^\top \mathbf{z}_{i+1})$;	$\quad \boldsymbol{\beta}_{i,j} = (\mathbf{Q}_j^\top \mathbf{P}_j)^{-1}(\mathbf{Q}_j^\top \mathbf{Z}_{i+1}), \quad j = 0, \ldots, i;$
12	$\quad \mathbf{p}_{i+1} = \mathbf{z}_{i+1} - \beta_i \mathbf{p}_i$;	$\quad \mathbf{P}_{i+1} = \mathbf{Z}_{i+1} - \sum_{j=0}^{i} \mathbf{P}_j\boldsymbol{\beta}_{i,j}$;
13	**end**	**end**
14	Retourner $\mathbf{x}_{i+1}$;	Retourner $\mathbf{x}_{i+1}$;

Les plus importantes propriétés de PCG sont bien connues [11] et permettent de comprendre le fonctionnement de l'algorithme :

(i) **Propriété de minimisation globale :**
$\|\mathbf{x}_* - \mathbf{x}_i\|_\mathbf{A} = \min\{\|\mathbf{x}_* - \mathbf{x}\|_\mathbf{A};\, \mathbf{x} \in \mathbf{x}_0 + \mathrm{Vect}\{\mathbf{p}_0, \ldots, \mathbf{p}_{i-1}\}\}$.

(ii) **Orthogonalité des directions de recherche :** $\langle \mathbf{p}_i, \mathbf{A}\mathbf{p}_j \rangle = 0$ si $i \neq j$.

(iii) L'algorithme trouve la solution exacte au bout de n itérations (n étant la taille de la matrice $\mathbf{A}$).

La première propriété nous indique qu'à chaque itération l'algorithme retourne la solution approchée $\mathbf{x}_i$ qui minimise l'erreur dans l'espace généré par les directions de recherche successives. La deuxième propriété assure que chaque nouvelle direction de recherche ajoute une dimension à cet espace de minimisation. Ceci implique la troisième propriété par un argument de dimension.

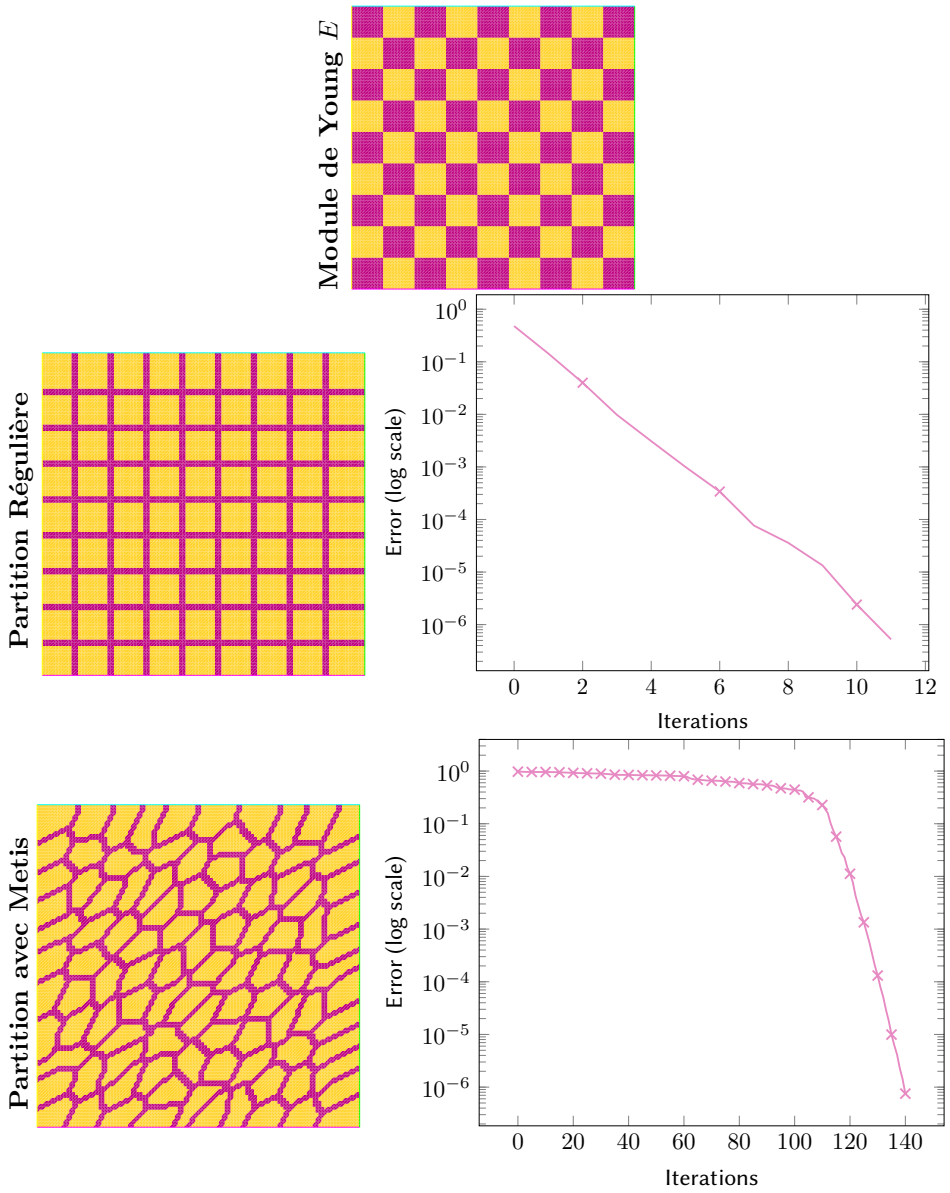


FIGURE 3: Résultats numériques pour l'algorithme classique BDD (c'est-à-dire le gradient conjugué préconditionné appliqué au système linéaire $\mathbf{A}\mathbf{u}_{*,\Gamma} = \mathbf{b}$ préconditionné par $\mathbf{H}$). La figure du haut montre la répartition des matériaux. Lorsque les sous domaines sont réguliers et homogènes (constitué d'un seul matériau) la convergence est très rapide (figures du milieu) mais elle se détériore significativement si la partition en sous-domaines ne satisfait pas ces hypothèses (figure du bas). Ceci est une limitation de l'algorithme BDD que l'on se propose d'améliorer.

Une idée naturelle pour améliorer la convergence de l'algorithme est de minimiser l'erreur dans un espace plus grand. C'est l'idée derrière la méthode de déflation [8, 3] (aussi appelée préconditionnement par projection ou encore méthode à deux niveaux) qui consiste à initialiser l'espace de recherche avec un certain nombre de vecteurs calculés au préalable. Une autre famille de méthodes qui exploitent l'idée d'enrichir l'espace de recherche est la famille des méthodes de Krylov par blocs [9], qui s'appliquent en particulier à la résolution simultanée de plusieurs systèmes linéaires. Ici, on applique une autre stratégie, moins courante, appelée le multipréconditionnement [10, 2].

Pour comprendre le mécanisme de multipréconditionnement, il faut étudier la façon dont sont générées les directions de recherche. Il s'agit des lignes 10 à 12 de l'algorithme : à la ligne 10 le préconditionneur $\mathbf{H}$ est appliqué au résidu de l'itération courante $\mathbf{r}_{i+1}$ pour produire $\mathbf{z}_{i+1}$. Puis, à la ligne 12, la direction de recherche $\mathbf{p}_{i+1}$ est calculée en orthogonalisant ce résidu préconditionné $\mathbf{z}_{i+1}$ contre la direction de recherche précédente $\mathbf{p}_i$ (le calcul du coefficient β_i assure cela). En fait, cette étape suffit à assurer que $\mathbf{p}_{i+1}$ est orthogonal à toutes les directions de recherche comme indiqué dans la propriété numérotée (ii) ci-dessus. Cette particularité est ce qu'on appelle la propriété de récurrence courte du gradient conjugué. L'algorithme multipréconditionné, ou MPCG, utilise exactement les mêmes idées. La seule différence est qu'au lieu d'avoir un seul préconditionneur et donc un seul résidu préconditionné $\mathbf{z}_{i+1}$ et une seule direction de recherche $\mathbf{p}_{i+1}$, on a N préconditionneurs ce qui conduit à calculer un résidu multipréconditionné $\mathbf{Z}_{i+1}$ qui est en fait un bloc de vecteurs de taille $n \times N$ puis un ensemble de N directions de recherches stocké dans $\mathbf{P}_{i+1} \in \mathbb{R}^{n\times N}$. L'étape d'orthogonalisation (ligne 12 de MPCG) est plus complexe qu'avec PCG car les simplifications arithmétiques qui ont lieu dans l'algorithme classique ne se produisent pas et il faut donc orthogonaliser explicitement contre toutes les directions de recherche précédentes. Cette étape, ainsi que le choix des poids $\boldsymbol{\alpha}_i \in \mathbb{R}^N$ qui servent à calculer l'incrément $\mathbf{P}_i\alpha_i$ entre l'itération $i+1$ et l'itération i, garantissent les propriétés suivantes pour MPCG :

(i) **Propriété de minimisation globale :**
$\|\mathbf{x}_* - \mathbf{x}_i\|_{\mathbf{A}} = \min\{\|\mathbf{x}_* - \mathbf{x}\|_{\mathbf{A}};\ \mathbf{x} \in \mathbf{x}_0 + \mathrm{Vect}\{\mathbf{P}_0, \ldots, \mathbf{P}_{i-1}\}\}$.

(ii) **Orthogonalité des directions de recherche :** $\mathbf{P}_j^\top \mathbf{A}\mathbf{P}_i = \mathbf{0}$ si $i \neq j$.

(iii) L'algorithme trouve la solution exacte au bout de n/N itérations (n étant, de nouveau, la taille de la matrice $\mathbf{A}$ et N le nombre de préconditionneurs).

Multipréconditionnement pour BDD et Adaptativité

On va à présent appliquer le solveur MPCG introduit dans la section précédente à la méthode de décomposition de domaine BDD introduite dans la première section.

Mise en œuvre de BDD multipréconditionné (MPBDD)

Les méthodes de décomposition de domaine constituent une application naturelle pour le multipréconditionnement. En effet, tous les préconditionneurs de décomposition de domaines s'écrivent comme une somme de résolutions d'un certain problème dans les sous-domaines. Il est donc possible, au lieu d'effectuer la somme, de garder chaque contribution locale au préconditionneur séparée. Pour l'algorithme BDD présenté dans la première partie de ce texte, ceci revient, au lieu d'utiliser le préconditionneur $\mathbf{H} = \sum_{s=1}^{N} \mathbf{R}^{s\top}\mathbf{D}^s\mathbf{S}^{s-1}\mathbf{D}^s\mathbf{R}^s$, à introduire N préconditionneurs définis par :

$$\mathbf{H}^{(s)} := \mathbf{R}^{s\top}\mathbf{D}^s\mathbf{S}^{s-1}\mathbf{D}^s\mathbf{R}^s, \text{ pour tout } s \in [\![1, N]\!].$$

Ayant défini les N préconditionneurs, on peut appliquer l'algorithme MPCG présenté dans la section précédente au problème modèle de la figure 3 (avec la partition Metis). Les résultats sont présentés dans la figure 4. Dans un premier temps, on ne prêtera pas attention aux résultats qui portent la légende AMPBDD (méthode qui sera expliquée dans le prochain paragraphe) pour se concentrer sur la comparaison entre BDD (algorithme classique, c'est-à-dire PCG : il s'agit des mêmes courbes que dans la figure 3) et MPBDD (algorithme multipréconditionné). On remarque que l'algorithme multipréconditionné ne nécessite qu'une vingtaine d'itérations pour converger au lieu de 140 précédemment. Ceci s'explique par le fait, qu'à un numéro d'itération fixé, MPBDD a généré $N = 81$ fois plus de direction de recherche que BDD (comme illustré dans le graphe sur la taille de l'espace de minimisation). Une façon d'évaluer le coût d'une méthode de type BDD est de compter le nombre de fois qu'il faut résoudre un système linéaire dans l'un des sous-domaines. C'est en effet l'opération la plus coûteuse d'une itération de BDD et elle a lieu N fois lorsqu'on applique l'opérateur $\mathbf{A}$ (c'est l'opération $(\mathbf{K}^s_{I^sI^s})^{-1}$) et N fois lors d'une étape de préconditionnement ou de multipréconditionnement (c'est l'opération $\mathbf{S}^{s-1}$). La Figure 4 montre que, même si l'espace de minimisation pour MPBDD est significativement plus grand, le nombre de résolutions de problèmes locaux est inférieur pour MPBDD que pour BDD. Ceci s'explique par le fait que les directions de recherche générées par MPBDD sont locales et laisse présager une meilleure performance de MPBDD par rapport à BDD en termes de temps de calcul. Pour une comparaison plus poussée on renvoie à l'article [1].

Variante adaptative : AMPCG et AMPBDD

Les résultats qui viennent d'être commentés montre que le multipréconditionnement permet de gagner en robustesse : la convergence de l'algorithme n'est plus sensible au fait que la partition en sous-domaines ne suit pas les hétérogénéités des matériaux. On souhaite à présent gagner en efficacité. Pour cela on propose ci-dessous l'algorithme du gradient conjugué multipréconditionné adaptatif (AMPCG).

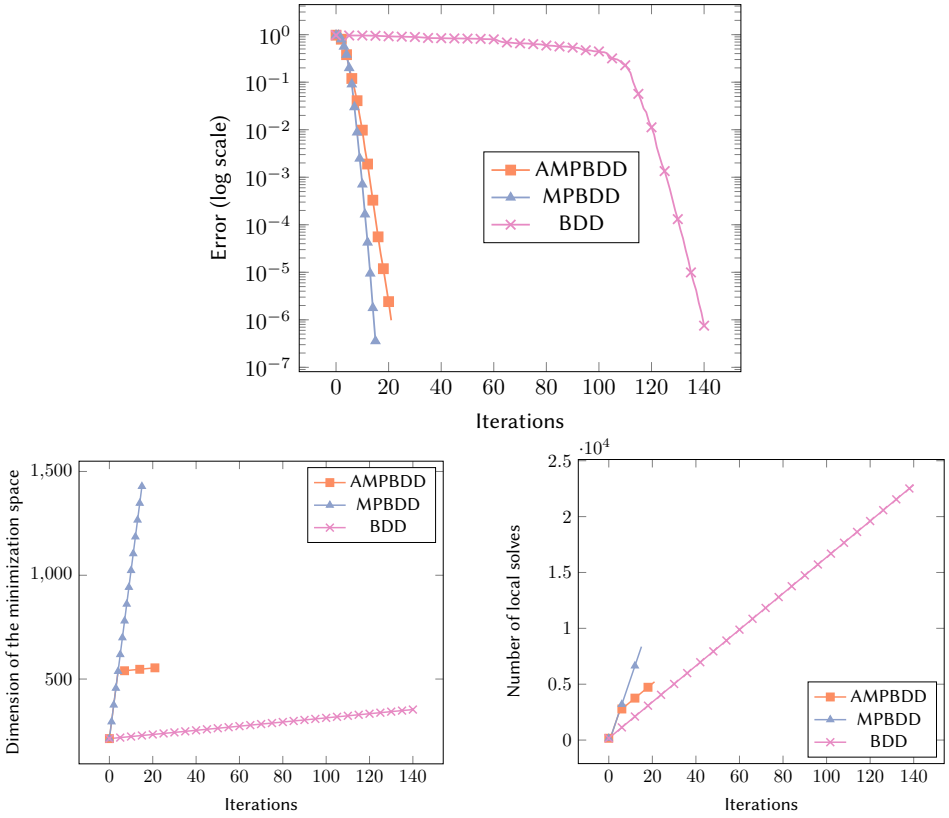


FIGURE 4: Résultats numériques : comparaison entre l'algorithme classique (BDD), l'algorithme multipréconditionné (MPBDD) et l'algorithme adaptatif (AMPBDD). L'algorithme adaptatif est un excellent compromis entre robustesse et efficacité.

AMPCG pour $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ $\left\{ \begin{array}{l} \textbf{multipréconditionné par } \mathbf{H}^{(1)}, \ldots \textbf{, et } \mathbf{H}^{(N)}, \\ \textbf{et préconditionné par } \sum_{s=1}^{N} \mathbf{H}^{(s)}. \end{array} \right.$
L'utilisateur choisit $\tau > 0$ (par exemple $\tau = 0.1$).

$\mathbf{x}_0$ donné;
$\mathbf{r}_0 = \mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}_0$; $\mathbf{Z}_0 = \left[\mathbf{H}^{(1)}\mathbf{r}_0 \,|\, \ldots \,|\, \mathbf{H}^{(N)}\mathbf{r}_0\right]$; $\mathbf{P}_0 = \mathbf{Z}_0$;
for $i = 0, 1, \ldots,$ *convergence* **do**
  $\mathbf{Q}_i = \mathbf{A}\mathbf{P}_i$;
  $\boldsymbol{\alpha}_i = (\mathbf{Q}_i^\top \mathbf{P}_i)^{-1} (\mathbf{P}_i{}^\top \mathbf{r}_i)$;
  $\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \mathbf{P}_i \boldsymbol{\alpha}_i$;
  $\mathbf{r}_{i+1} = \mathbf{r}_i - \mathbf{Q}_i \boldsymbol{\alpha}_i$;
  $t_i = \dfrac{(\mathbf{P}_i \boldsymbol{\alpha}_i)^\top \mathbf{A} (\mathbf{P}_i \boldsymbol{\alpha}_i)}{\mathbf{r}_{i+1}^\top \sum_{s=1}^{N} \mathbf{H}^{(s)} \mathbf{r}_{i+1}}$;
  if $t_i < \tau$ **then** `// τ-test pour choisir le type d'itération`
    $\mathbf{Z}_{i+1} = \left[\mathbf{H}^{(1)}\mathbf{r}_{i+1} \,|\, \ldots \,|\, \mathbf{H}^{(N)}\mathbf{r}_{i+1}\right]$; `// Multipréconditionnement`
  else
    $\mathbf{Z}_{i+1} = \sum_{s=1}^{N} \mathbf{H}^{(s)} \mathbf{r}_{i+1}$; `// Préconditionnement classique`
  end
  $\boldsymbol{\beta}_{i,j} = (\mathbf{Q}_j^\top \mathbf{P}_j)^{-1} (\mathbf{Q}_j^\top \mathbf{Z}_{i+1}), \quad j = 0, \ldots, i;$
  $\mathbf{P}_{i+1} = \mathbf{Z}_{i+1} - \sum_{j=0}^{i} \mathbf{P}_j \boldsymbol{\beta}_{i,j};$
end
Return $\mathbf{x}_{i+1}$;

C'est un hybride entre les algorithmes PCG et MPCG : certaines itérations sont préconditionnées de façon classique et d'autres sont multipréconditionnées. Ceci signifie qu'on a à la fois des itérations plus coûteuses et plus efficaces (les itérations multipréconditionnées) et des itérations moins coûteuse et moins efficaces (les itérations préconditionnées).

Les résultats pour notre cas test se trouvent dans la Figure 4 où on peut les comparer à l'algorithme classique BDD et l'algorithme multipréconditionné MPBDD. Le premier constat est que la convergence de AMPBDD est très rapide et sans phase de stagnation. Afin d'identifier quel type de préconditionnement a été réalisé à chaque itération, on regarde le graphique en bas à gauche qui représente la taille de l'espace de minimisation construit. On constate que pendant les 4 premières itérations, l'algorithme ajoute 81 directions de recherche par itération. C'est donc que l'algorithme commence par quatre itérations multipréconditionnées. A partir de la cinquième itération, les directions de recherche s'ajoutent une par une ce qui signifie que l'algorithme réalise un préconditionnement classique. La conclusion est qu'avec seulement quelques itérations multipréconditionnées, l'espace de minimisation est suffisamment enrichi pour avoir une convergence presque aussi rapide

qu'avec l'algorithme multipréconditionné mais pour un coût réduit. Cette illustration numérique indique aussi que le mécanisme d'adaptativité (qui se trouve entre les lignes 8 et 13 de l'algorithme) est une bonne manière de choisir entre les deux types d'itération afin d'obtenir robustesse et efficacité. Le choix de la quantité t_i qui est calculée et du τ-test peut sembler assez mystérieux et on renvoie à l'article complet [12] pour de plus amples explications.

Bibliographie

[1] C. Bovet, A. Parret-Fréaud, N. Spillane, and P. Gosselet. Adaptive multipreconditioned feti : scalability results and robustness assessment. *Computers & Structures*, 193 :1–20, 2017.

[2] R. Bridson and C. Greif. A multipreconditioned conjugate gradient algorithm. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 27(4) :1056–1068 (electronic), 2006.

[3] Z. Dostál. Conjugate gradient method with preconditioning by projector. *International Journal of Computer Mathematics*, 23(3-4) :315–323, 1988.

[4] J. W. Eaton, D. Bateman, and S. Hauberg. *GNU Octave version 3.0.1 manual : a high-level interactive language for numerical computations*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2009. ISBN 1441413006.

[5] F. Hecht. *FreeFem++*. Numerical Mathematics and Scientific Computation. Laboratoire J.L. Lions, Université Pierre et Marie Curie, http ://www.freefem.org/ff++/, 3.23 edition, 2013.

[6] M. R. Hestenes and E. Stiefel. Methods of conjugate gradients for solving linear systems. *J. Research Nat. Bur. Standards*, 49 :409–436 (1953), 1952.

[7] J. Mandel. Balancing domain decomposition. *Comm. Numer. Methods Engrg.*, 9(3) :233–241, 1993.

[8] R. A. Nicolaides. Deflation of conjugate gradients with applications to boundary value problems. *SIAM J. Numer. Anal.*, 24(2) :355–365, 1987.

[9] D. P. O'Leary. The block conjugate gradient algorithm and related methods. *Linear Algebra Appl.*, 29 :293–322, 1980.

[10] D. Rixen. *Substructuring and Dual Methods in Structural Analysis*. PhD thesis, Université de Liège, Collection des Publications de la Faculté des Sciences appliquées, n.175, 1997.

[11] Y. Saad. *Iterative methods for sparse linear systems*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, second edition, 2003.

[12] N. Spillane. An adaptive multipreconditioned conjugate gradient algorithm. *SIAM J. Sci. Comput.*, 38(3) :A1896–A1918, 2016.

[13] N. Spillane, V. Dolean, P. Hauret, F. Nataf, C. Pechstein, and R. Scheichl. Abstract robust coarse spaces for systems of PDEs via generalized eigenproblems in the overlaps. *Numer. Math.*, 126(4) :741–770, 2014.

[14] N. Spillane and D. J. Rixen. Automatic spectral coarse spaces for robust FETI and BDD algorithms. *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 95(11) :953–990, 2013.

[15] A. Toselli and O. Widlund. *Domain decomposition methods—algorithms and theory*, volume 34 of *Springer Series in Computational Mathematics*. Springer-Verlag, Berlin, 2005.

[16] A. van der Sluis and H. A. van der Vorst. The rate of convergence of conjugate gradients. *Numer. Math.*, 48(5) :543–560, 1986.

Le Prix Fermat 2017 et ses lauréats

Le **Prix Fermat 2017** de recherche en mathématiques a été attribué conjointement à **Simon Brendle** (Columbia University) et **Nader Masmoudi** (New York University at Abu Dhabi & Courant Institute of Mathematical Sciences), respectivement pour :

— ses nombreux et profonds résultats en analyse géométrique, faisant intervenir des équations aux dérivées partielles de type elliptique, parabolique et hyperbolique, en particulier pour sa preuve élégante de la conjecture de Lawson, sa caractérisation des solutions soliton des flots de Ricci et de courbure moyenne en dimension 3 ainsi que pour ses contributions remarquables, en collaboration avec Gerhard Huisken, à l'analyse du flot de courbure moyenne des surfaces convexes en moyenne dans les variétés de dimension 3,

— ses travaux remarquables de profondeur et de créativité en analyse des équations aux dérivées partielles non-linéaires et en particulier pour ses contributions récentes à la résolution rigoureuse et complète de problèmes de stabilité hydrodynamique soulevés dès la fin du XIXème siècle par les pères fondateurs de la mécanique des fluides moderne.

Les deux textes ci-après de Michael Struwe et Franck Boyer décrivent plus précisément les contributions des deux lauréats.

Rappelons que le Prix Fermat récompense des mathématicien(-ne)s de moins de 45 ans ayant apporté des contributions majeures dans l'un des domaines où s'est illustré Pierre de Fermat : le calcul des variations et les équations aux dérivées partielles, la géométrie analytique, les probabilités et la théorie des nombres. Les récipiendaires du Prix s'engagent à publier un article de synthèse dans les *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*[1], exposant à un public de mathématiciens professionnels, mais pas forcément spécialistes du sujet, ce qu'apportent les résultats de la recherche récompensée. Le Prix Fermat est organisé tous les deux ans par l'Institut de Mathématiques de Toulouse[2] et financé par la Région Occitanie Pyrénées-Méditerranée[3], avec le soutien de l'Université Paul Sabatier[4].

Rendez-vous pour le prochain Prix Fermat, qui sera décerné fin 2019. Plus d'informations, concernant notamment l'ouverture et les critères d'éligibilité des candidatures, seront disponibles sur :

https://www.math.univ-toulouse.fr/spip.php?article240

1. http://afst.cedram.org/
2. https://www.math.univ-toulouse.fr/
3. https://www.laregion.fr/
4. http://www.univ-tlse3.fr/

Le Prix Fermat Junior 2017 et ses lauréats

Communiqué par Jean-François Coulombel,
et Joan Bellier-Millès, Université de Toulouse III.

Le **Prix Fermat Junior 2017** a été attribué conjointement à **Charlie Hérent** (étudiant à l'ÉNS Rennes) et au trio **Corentin Lunel**, **Hugo Fages** et **Quentin Rembert** (étudiants, respectivement, à l'ÉNS Lyon, l'École Polytechnique et Télécom SudParis), respectivement pour leurs contributions :

- Les morphismes et les plongements entre groupes de permutations,
- Étude d'un invariant des nœuds alternés couplée à une implémentation informatique.

Les deux contributions primées, qui sont décrites ci-après, seront publiées prochainement dans la revue *Quadrature*[5].

Rappelons que le Prix Fermat Junior récompense un travail en mathématiques effectué par un(e) (ou des) étudiant(e)(s) dans les lycées et universités français. La contribution primée doit être accessible aux étudiants ayant une niveau de Licence en mathématiques. Le Prix Fermat Junior est organisé tous les deux ans par l'Institut de Mathématiques de Toulouse et financé par l'Université Paul Sabatier.

La cérémonie officielle de remise des Prix Fermat se déroulera le lundi 14 mai 2018 à Toulouse, Hôtel de Région Occitanie Pyrénées-Méditerranée. Un exposé grand public y sera donné par Josselin Garnier (École Polytechnique).

La contribution de Charlie Hérent. Le travail de Charlie Hérent apporte des réponses nouvelles en théorie des groupes et plus spécifiquement à l'étude des morphismes de groupes $\mathfrak{S}_n \to \mathfrak{S}_m$ entre groupes symétriques. Lorsque l'entier m est strictement plus petit que l'entier n, on comprend bien ces morphismes en remarquant que le noyau d'un morphisme de groupes est un sous-groupe distingué et en utilisant le fait que les sous-groupes distingués de $\mathfrak{S}_n$ sont peu nombreux. Le cas $m = n$ se traite en étudiant les automorphismes intérieurs de $\mathfrak{S}_n$ et l'étude des plongements $\mathfrak{S}_n \to \mathfrak{S}_m$ lorsque $n < m$ apporte des informations sur le nombre de sous-groupes isomorphes à $\mathfrak{S}_n$ dans $\mathfrak{S}_m$. Charlie Hérent s'intéresse au dénombrement des morphismes et des plongements de groupes $\mathfrak{S}_n \to \mathfrak{S}_m$ dans le cas $n \leq m$.
Lorsque $G = \langle a \rangle$ est un groupe monogène, un morphisme de groupe $G \to H$ est caractérisé par l'image de a. Inversement, étant donné un élément $b \in H$, on peut définir un morphisme de groupe $G \to H$ en envoyant a sur b si et seulement si l'ordre de b divise l'ordre de a. De la même façon, si $\{g_1, \ldots, g_n\}$ est un système de générateurs du groupe G, il est possible de décrire un morphisme de groupes

5. http://www.quadrature.info/

$G \to H$ en ne décrivant que l'image des générateurs g_i parmi des éléments de H vérifiant toutes les relations satisfaites par les g_i.
Charlie Hérent utilise cette idée pour calculer le nombre exact de sous-groupes de $\mathfrak{S}_n$ isomorphes à $\mathfrak{S}_3$, $\mathfrak{A}_4$ ou encore au groupe de Klein. Il donne aussi des encadrements du nombre de morphismes ou du nombre de plongements de $\mathfrak{S}_n$ dans $\mathfrak{S}_m$ à l'aide des nombres correspondants pour les morphismes ou les plongements de $\mathfrak{S}_2$ ou $\mathfrak{S}_3$ dans $\mathfrak{S}_m$.

La contribution de Corentin Lunel, Hugo Fages et Quentin Rembert. L'équipe formée de Corentin Lunel, Hugo Fages et Quentin Rembert a travaillé sur la théorie des nœuds et elle a développé et programmé un nouvel algorithme calculant un invariant sur les nœuds alternés. Les nœuds sont des courbes fermées de l'espace et on s'intéresse à leur étude à déformation près. Une manière de les modéliser est de les projeter dans le plan. On fait alors apparaître des points multiples (doubles si la projection est bien choisie) pour lesquels il faut garder l'information du brin qui passe au-dessus de l'autre si l'on ne veut pas perdre de l'information.
On associe à une projection un mot de Gauss : on numérote les croisements puis on parcourt le nœud en notant les croisements traversés. Bien entendu, ce mot dépend de plusieurs paramètres et il convient donc d'identifier les différents mots obtenus à partir d'un même nœud. Un nœud est dit *alterné* lorsqu'il admet une projection pour laquelle les croisements sont alternés : en-dessous, au-dessus, en-dessous, au-dessus... lorsqu'on le parcourt. Une conjecture de Tait, qui est maintenant un théorème, assure que le mot de Gauss fournit un invariant de nœud alterné.
On associe alors au mot de Gauss un graphe qui est un invariant du nœud alterné assez fin. En se limitant aux cardinaux des différentes composantes connexes de ce graphe, le trio lauréat obtient un invariant moins fin mais plus facilement calculable. Il présente alors une jolie implémentation en python qui propose des fonctions pour générer aléatoirement des noeuds ou des entrelacs, des fonctions d'affichage permettant de comprendre l'invariant et, bien entendu, une fonction qui compare les invariants de deux nœuds.

Rendez-vous pour le prochain Prix Fermat Junior, qui sera décerné fin 2019. Plus d'informations, concernant notamment l'ouverture et les critères d'éligibilité des candidatures, seront disponibles sur :

https://www.math.univ-toulouse.fr/spip.php?article246

The contributions of Simon Brendle

Communiqué par Michael Struwe, ETH Zürich.

The field of Geometric Analysis has a long tradition of beautiful results and challenging questions. We can trace its beginning to the 1762 minimal surface equation of Lagrange ; rewritten as an equation of second order by Meusnier, it is perhaps

the oldest nonlinear partial differential equation known. In 1936, Jesse Douglas' solution of the Plateau problem for minimal surfaces was recognized with one of the first two Fields medals. In 2001, Perelman's proof of the Poincaré conjecture by means of the Ricci flow, completing a strategy laid out by Hamilton, for some time made the field of Geometric Analysis the focus of attention of the mathematical world.
In the same year 2001, still at the age of 19, Simon Brendle graduated from Tübingen University. It seems only natural that his thesis topic derived from Geometric Analysis. But it was not at all obvious and all the more impressive that in the surge of activity in Geometric Analysis after Perelman's work he was soon to become the driving force and leader in some of the most spectacular more recent developments in the field. In view of Simon Brendle's wide-sweeping interests, tracing all of his achievements seems impossible. Therefore here we limit ourselves to a review of only some of the most visible highlights of his work so far.

Conformal geometry. The Yamabe theorem asserts that, similar to the uniformization theorem for closed surfaces, any closed manifold (M, g) of dimension $m \geq 3$ carries a conformal metric of constant scalar curvature. After Yamabe's first unsuccessful attempt, in 1976 a proof for a large class of manifolds was achieved by Aubin, and in 1984 Schoen was able to find an argument, based on the positive mass theorem, miraculously covering exactly the cases left open by Aubin. In the course of his work, moreover, Schoen was led to conjecture that, unless the manifold (M, g) is conformal to the sphere, the space of *all* solutions of the Yamabe equation is compact in the C^2-topology, and he was able to verify this conjecture in the case when (M, g) is locally conformally flat. Based on a strategy proposed by Schoen, the conjecture later was shown to hold true in low dimensions by work of Li-Zhu and Druet, and, finally, in 2007, for dimensions $n \leq 24$ by Khuri-Marques-Schoen. Around the same time, against all expectations, in [3], Simon Brendle gave an ingenious construction of smooth manifolds (M, g) of dimension $n \geq 52$ for which compactness fails even for solutions with bounded Yamabe energy. In a sequel [10], jointly with F. Marques he extended this construction to dimensions $n \geq 25$, which then is the optimal result.

Yamabe flow. Originally proposed by Hamilton and Yau as an alternative approach to the Yamabe theorem, the question whether the heat flow for the Yamabe energy would always converge to a constant scalar curvature metric was a long-standing open problem. In 1994 convergence of the flow on a locally conformally flat manifold had been shown by Ye with the help of the Schoen-Yau developing map and an argument based on Alexandrov reflection and the maximum principle, which however, crucially uses the symmetries of the sphere. For a general manifold of dimension $3 \leq n \leq 5$, Schwetlick and I in 2003 were able to show that the positive mass theorem of general relativity yields convergence of the flow, however, only for initial data with energy so small that possible divergence of the flow

could be characterized by the degeneration of the flow to at most one "bubble". Prompted by our work, in a remarkable display of technical power, Simon Brendle through a combination of the positive mass theorem with the interaction analysis of Bahri-Coron for multiple "bubbles" and the Lojasiewicz-Simon inequality in [1] was able to remove this restriction entirely, proving unconditional convergence of the flow first in dimensions $3 \leq n \leq 5$, and then in [2] also for a large class of closed manifolds of dimension $n \geq 6$, including, in particular, all spin manifolds.

Differentiable sphere theorem. In [12] Simon Brendle and Rick Schoen show that every closed and simply connected Riemannian manifold (M, g) whose sectional curvatures are pointwise strictly quarter pinched is diffeomorphic to the sphere with its standard structure. This result very significantly improves the previous results of Berger and Klingenberg from the early 1960's stating that a simply connected Riemannian manifold whose sectional curvatures all lie in the interval $]1, 4]$ is homeomorphic to S^n and settles one of the major open problems in classical differential geometry since the 1950's. The proof given by Brendle and Schoen uses Hamilton's Ricci flow and is based on the discovery and ingenious use of new curvature conditions, derived from the notion of "positive isotropic curvature" introduced by Micallef-Moore in 1988. While the observation that positive isotropic curvature is preserved under the Ricci flow was made independently by H. Nguyen, Brendle and Schoen show that if the sectional curvatures of (M, g) are pointwise quarter pinched, then also $(M, g) \times \mathbb{R}^2$ has non-negative isotropic curvature, and they demonstrate that this condition is preserved and, in fact, improved under the flow, from which the result follows. Aside from the proof of the Poincaré and Geometrization conjectures completed by Perelman, this contribution by Simon Brendle and Rick Schoen is the most spectacular application of Hamilton's Ricci flow to date, and a milestone in the history of Geometric Analysis. In a companion paper in Acta [11], Brendle and Schoen have also been able to characterize all manifolds whose sectional curvatures are pointwise weakly quarter pinched.

Minimal surfaces, Lawson conjecture. In [4], Simon Brendle gives an astounding and beautiful proof of the conjecture that up to isometries the Clifford torus $(\mathbb{S}^1 \times \mathbb{S}^1)/\sqrt{2} \subset \mathbb{S}^3 \subset \mathbb{R}^4$ is the only minimal torus Σ embedded in $\mathbb{S}^3$. Brendle's proof is based on a highly original and clever use of the maximum principle in the analysis of the quantity

$$\sup_{x,y \in \Sigma,\, x \neq y} \frac{\sqrt{2}\,|\nu(x) \cdot y|}{|A(x)|\,|1 - x \cdot y|},$$

where A is the second fundamental form and where ν is the unit normal of Σ, viewed as a hypersurface in $\mathbb{S}^3$. Note that for any given $x \in \Sigma$ and for any $y \in \Sigma$ close to x, the quantity $\nu(x) \cdot y$ approximately equals the second fundamental form of Σ at x in direction $y - x$, and $|1 - x \cdot y| = \frac{1}{2}|x - y|^2$ gives the correct normalization.

The technique of applying the maximum principle to global quantities depending on a pair of points as in the quotient above was introduced by Gerhard Huisken in his new proof of Grayson's theorem on curve shortening flow and was developed further by Ben Andrews in the context of mean curvature flow of strictly mean-convex surfaces. Brendle's use of the maximum principle in his proof of the Lawson conjecture is a surprising, highly original extension of these ideas.

The current focus of Brendle's work, however, lies on geometric flows, notably the mean curvature flow for which he has obtained sharp new bounds with deep consequences, and the higher-dimensional Ricci flow. In amazing progression he is producing results of the highest quality that rapidly advance the field.

Mean curvature flow. Another deep application of the 2-point maximum principle underlies Brendle's [6] proof of the sharp bound $\rho \leq (1+\delta)H + C(\delta)$ for any $\delta > 0$ for the inscribed radius ρ of mean convex hypersurfaces (with mean curvature $H > 0$) evolving under mean curvature flow. This bound is the basis for Brendle's recent extension [9], jointly with Gerhard Huisken, of the work of Huisken-Sinestrari on mean curvature flow with surgery of mean convex hypersurfaces in ambient $\mathbb{R}^n$, $n \geq 4$, to the "physical" case when $n = 3$, which for a number of years had defied all attempts.

Ricci flow. For the further analysis of the Ricci flow after Perelman a precise understanding of the curvature conditions which are preserved by the Ricci flow and of the possible singularity models and soliton solutions is needed. One such result is Brendle's proof [5] of the uniqueness of Bryant soliton, a rigidity result conjectured by Perelman. In [7] Brendle presents a new curvature condition which is preserved by the Ricci flow in higher dimensions. As a result, for such manifolds a higher dimensional version of Hamilton's neck-like curvature pinching estimate and Perelman's "Canonical Neighborhood Theorem" is obtained, allowing Brendle to extend the flow beyond singularities by a surgery procedure in the spirit of Hamilton and Perelman. As a corollary, he obtains a classification of all diffeomorphism types of such manifolds in terms of a connected sum decomposition. In very recent work [8], again using curvature pinching estimates, now coupled with a new structure theory for ancient solutions, Brendle also establishes such a Canonical Neighborhood Theorem for the Ricci flow with initial data with positive isotropic curvature in dimension $n \geq 12$. Adapting Perelman's surgery procedure to this situation, as a corollary he obtains a topological classification of all compact manifolds with positive isotropic curvature which do not contain non-trivial incompressible space forms.

Bibliographie

[1] Brendle, Simon : *Convergence of the Yamabe flow for arbitrary initial energy*, J. Differential Geom. 69 (2005), no. 2, 217-278.

[2] Brendle, Simon : *Convergence of the Yamabe flow in dimension 6 and higher*, Invent. Math. 170 (2007), no. 3, 541-576.

[3] Brendle, Simon : *Blow-up phenomena for the Yamabe equation*, J. Amer. Math. Soc. 21 (2008), no. 4, 951-979.

[4] Brendle, Simon : *Embedded minimal tori in S^3 and the Lawson conjecture*, Acta Math. 211 (2013), no. 2, 177-190.

[5] Brendle, Simon : *Rotational symmetry of self-similar solutions to the Ricci flow*, Invent. Math. 194 (2013), no. 3, 731-764.

[6] Brendle, Simon : *A sharp bound for the inscribed radius under mean curvature flow*, Invent. Math. 202 (2015), no. 1, 217-237.

[7] Brendle, Simon : *Ricci flow with surgery in higher dimensions*, Ann. of Math. 187 (2018), 263-299.

[8] Brendle, Simon : *Ricci flow with surgery on manifolds with positive isotropic curvature*, arXiv :1711.05167

[9] Brendle, Simon ; Huisken, Gerhard : *Mean curvature flow with surgery of mean convex surfaces in $\mathbb{R}^3$*, Invent. Math. 203 (2016), no. 2, 615-654.

[10] Brendle, Simon ; Marques, Fernando C. : *Blow-up phenomena for the Yamabe equation. II*, J. Differential Geom. 81 (2009), no. 2, 225-250.

[11] Brendle, Simon ; Schoen, Richard M. : *Classification of manifolds with weakly 1/4-pinched curvatures*, Acta Math. 200 (2008), no. 1, 1-13.

[12] Brendle, Simon ; Schoen, Richard M. : *Manifolds with 1/4-pinched curvature are space forms*, J. Amer. Math. Soc. 22 (2009), no. 1, 287-307.

Les contributions de Nader Masmoudi

Communiqué par Franck Boyer, Université Toulouse III et IUF.

Rendre compte avec fidélité et en quelques lignes de l'ensemble des travaux scientifiques de Nader Masmoudi qui lui ont valu l'attribution du prix Fermat 2017 est un défi certainement impossible à relever.

En une vingtaine d'années de carrière, N. Masmoudi a écrit ou co-écrit une grosse centaine d'articles (beaucoup d'entre eux dépassant allègrement les 50 pages) publiés dans les toutes meilleures revues. En dehors de l'aspect quantitatif dont chacun sait qu'il ne mesure que faiblement l'impact d'un chercheur sur sa discipline, il me semble fondamental de relever que chacune de ses contributions a apporté à la fois des résultats importants et qui font aujourd'hui référence mais aussi des méthodes mathématiques nouvelles qui ont parfois montré leur efficacité dans une

large variété de contextes. J'ajoute que N. Masmoudi et ses co-auteurs attachent manifestement un très grand soin à la rédaction des articles ce qui rend accessible des tours de force techniques qui auraient pu être tout à fait indigestes sans cet effort de pédagogie et de mise en perspective.

Introduction

Le thème principal des recherches menées par N. Masmoudi est l'analyse des équations aux dérivées partielles d'évolution non-linéaires notamment issues de modèles de la mécanique des fluides. Ce thème se décline selon de nombreuses directions dans l'œuvre de N. Masmoudi : écoulements de fluides complexes (non-newtoniens), passage de modèles cinétiques aux modèles fluides, limites incompressibles, couches limites, ondes de surface, comportement en temps long et stabilité, homogénéisation, ...

Pour donner une idée un peu plus précise de l'impact de ces travaux je vais principalement esquisser ici la description des résultats récents qu'il a obtenus concernant des problèmes de stabilité asymptotique en mécanique des fluides dont l'étude a été initiée par les pères fondateurs de la mécanique des fluides théorique. Les équations considérées (en dimension $d = 2$ ou $d = 3$) sont données sous forme adimensionnelle par

$$\begin{cases} \partial_t u + (u \cdot \nabla)u - \varepsilon \Delta u + \nabla p = 0, \\ \qquad\qquad\qquad\qquad \operatorname{div} u = 0. \end{cases} \tag{1}$$

Ces équations régissent l'évolution du champ de vitesse d'un fluide $u : (t, x) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^d \mapsto u(t, x) \in \mathbb{R}^d$ et du champ de pression associé $p : (t, x) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^d \mapsto p(t, x) \in \mathbb{R}$. Le paramètre $\varepsilon \geq 0$ dans ce système correspond à la viscosité du fluide et joue un rôle majeur dans la physique du problème et dans les propriétés qualitatives des solutions. Deux régimes assez différents peuvent être ainsi distingués :

- Pour $\varepsilon = 0$, on parle des **équations d'Euler** ; elles sont par nature conservatives et réversibles et ne contiennent donc pas, *a priori*, de termes d'amortissement susceptibles de faire décroître des perturbations initiales de la solution au cours du temps.
- Si $\varepsilon > 0$ on parle des **équations de Navier-Stokes** ; elles sont irréversibles et contiennent un *petit* terme de dissipation qui devrait aider à établir des propriétés de stabilité plus facilement. Au moins formellement, on s'attend à retrouver pour ε petit un comportement des solutions proche de celui des solutions des équations d'Euler mais comme le petit paramètre apparaît devant le terme d'ordre le plus élevé, il s'agit d'un problème de perturbations singulières qui peut être délicat : la nature même des équations change quand $\varepsilon \to 0$.

On s'intéressera aux solutions périodiques dans les variables x_1 et x_3 (si $d = 3$ ...), la variable x_2 parcourant $\mathbb{R}$. Dans cette géométrie, une solution stationnaire

particulière de ces équations (appelée **écoulement de Couette**) correspond à un écoulement de cisaillement ; elle est donnée par la formule $U(x) = x_2 e_1$, $p(x) = 0$. Autrement dit c'est une configuration dans laquelle le fluide s'écoule uniquement dans la direction e_1 portée par la coordonnée x_1 et selon un profil linéaire en x_2 ; à noter que, pour $\varepsilon = 0$, les profils non-linéaires sont également des solutions exactes des équations (voir Figure 5). La question de la stabilité (éventuellement asymptotique) de cette solution quand on perturbe la donnée initiale a fait l'objet de nombreuses études à la fois théoriques et expérimentales depuis fort longtemps [7, 9] et s'est avérée être beaucoup plus délicate que ce que l'on pourrait penser au premier abord.

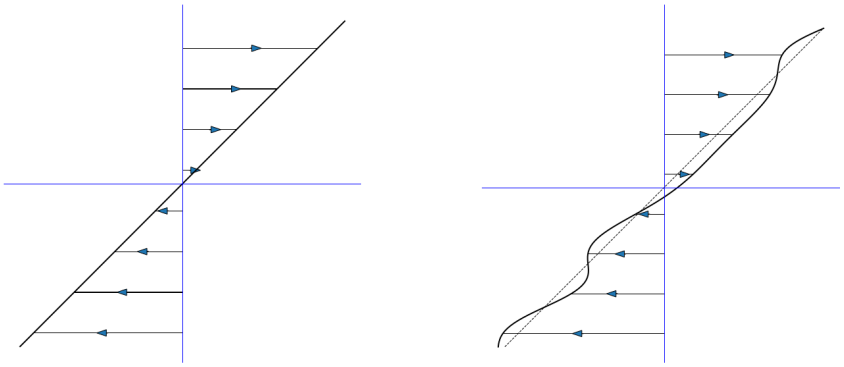


FIGURE 5: Ecoulements de cisaillement 2D : l'écoulement de Couette (gauche) et un écoulement de cisaillement quelconque (droite)

Un problème modèle

Pour un système d'équations différentielles ordinaires de la forme $y' + Ay = 0$, le fait que toutes les valeurs propres de la matrice A aient une partie réelle positive ou nulle ne suffit pas à assurer la stabilité du système au voisinage de l'équilibre (en particulier si certaines d'entre elles sont imaginaires pures). Ce sera le cas si la matrice A est normale mais si elle ne l'est pas et qu'il existe des blocs de Jordan non triviaux pour des valeurs propres imaginaires pures alors des instabilités peuvent de développer de façon polynomiale en temps. C'est donc un phénomène plus difficile à capter qu'une instabilité spectrale classique qui se développe de façon exponentielle.

Si maintenant on considère une EDP d'évolution linéaire (i.e. un système dynamique linéaire en dimension infinie), la faiblesse de l'analyse spectrale subsiste et s'y ajoute un second aspect qui est l'importance du **choix des topologies** dans lesquelles on analyse le problème.
Prenons un exemple très simple avec l'équation de cisaillement 2D basique[6] donnée par

$$\partial_t f + U \cdot \nabla f = \partial_t f + x_2 \partial_{x_1} f = 0, \quad f(0,x) = f_0(x), \tag{2}$$

avec les mêmes conditions de périodicité en x_1 que précédemment et on suppose que la donnée initiale f_0 est bornée et à support compact pour fixer les idées. La solution de ce problème se calcule aisément par la formule

$$f(t,x_1,x_2) = f_0(x_1 - tx_2, x_2), \quad \forall t, x_1, x_2.$$

Il apparaît clairement que, pour tout x_2 fixé, la moyenne en x_1 de la solution, notée $\bar{f}(t,x_2)$ ne dépend pas de t. Cette composante de la solution est donc préservée au cours du temps. On suppose donc dans la suite que la moyenne en x_1 de la donnée initiale $\bar{f}_0(x_2)$ est nulle. On observe également que toutes les normes L^p, $1 \leq p \leq +\infty$ de cette solution sont conservées au cours du temps. Ainsi, pour les topologies fortes des L^p on a stabilité de la solution nulle au sens de Lyapounov.
D'autre part, en variables de Fourier $(k,\eta) \in \mathbb{Z} \times \mathbb{R}$, on trouve

$$\hat{f}(t,k,\eta) = \hat{f}_0(k, \eta + kt).$$

Ainsi, on voit que $\hat{f}(t,k,\eta)$ tend vers 0 quand $t \to \infty$ pour tout $k \neq 0$, uniformément sur tout compact en η. Comme on a supposé que $\bar{f}_0 = 0$, c'est-à-dire que $\hat{f}_0(0,\eta) = 0$ pour tout η, on vient de montrer que $f(t,.)$ converge faiblement vers 0 dans L^2 quand $t \to \infty$. On peut même vérifier qu'on a convergence forte vers 0 dans l'espace de Sobolev de faible régularité H^{-1} avec une estimation du type

$$\|f(t,.)\|_{H^{-1}} \leq \frac{C}{1+t} \|f_0\|_{H^1}.$$

Sur cette même formule en Fourier, on peut également voir que, pour t grand on a

$$\|\partial_{x_2} f(t,.)\|_{L^2} \approx t \|\partial_{x_1} f_0\|_{L^2},$$

et donc, sauf si f_0 est nulle, on a $f(t,.)$ qui explose en temps long dans l'espace de Sobolev H^1.
En résumé, même sur un système aussi simple que le problème (2), la stabilité spectrale n'est pas très informative et selon la topologie choisie, on observe ou l'instabilité, ou la stabilité, ou même la stabilité asymptotique de la solution nulle (à partir de données initiales à moyenne en x_1 nulles).

6. mais néanmoins pertinente pour comprendre les modèles de mécanique des fluides qui vont suivre car ce n'est rien d'autre qu'un transport passif par l'écoulement de Couette U

Stabilité du flot de Couette

Découvrons maintenant en quoi toute une série de contributions récentes de N. Masmoudi et ses collaborateurs sur ce sujet ont permis une compréhension très complète de ces phénomènes de stabilité de l'écoulement de Couette pour les modèles non-linéaires décrits plus haut.

Équations d'Euler en 2D. Pour $\varepsilon = 0$ et $d = 2$, les solutions de l'équation (1) ont une propriété agréable : la quantité (scalaire) $\omega = \operatorname{rot} u = \partial_{x_2} u_1 - \partial_{x_1} u_2$, appelée **vorticité**, vérifie une équation de transport

$$\partial_t \omega + u \cdot \nabla \omega = 0,$$

et la vitesse u peut-être exprimée grâce à une loi linéaire en fonction de ω : pour cela il suffit de calculer la fonction de courant ψ puis la vitesse u par les formules

$$\Delta \psi = \omega, \quad u = \nabla^\perp \psi = \begin{pmatrix} -\partial_{x_2} \psi \\ \partial_{x_1} \psi \end{pmatrix}.$$

Pour étudier la stabilité de l'écoulement de Couette U (dont la vorticité vaut 1) dans ce modèle, on peut commencer par étudier l'équation linéarisée, obtenue formellement en écrivant $u = U + \tilde{u}$, $\omega = 1 + \tilde{\omega}$ et en négligeant les termes non-linéaires dans les équations. On trouve

$$\partial_t \tilde{u} + x_2 \partial_{x_1} \tilde{u} + \tilde{u}_2 e_1 + \nabla p = 0,$$

ou, de façon équivalente, dans la formulation en vorticité

$$\begin{cases} \partial_t \tilde{\omega} + x_2 \partial_{x_1} \tilde{\omega} = 0, \\ \Delta \tilde{\psi} = \tilde{\omega}, \quad \tilde{u} = \nabla^\perp \tilde{\psi}. \end{cases}$$

L'équation vérifiée par $\tilde{\omega}$ dans ce dernier système est exactement le problème modèle (2) que nous avons étudié précédemment. Il reste donc à comprendre ce que les résultats décrits plus haut impliquent sur le champ de vitesse $\tilde{u}$. Pour cela on exprime la fonction de courant $\tilde{\psi}$ dans les variables $z_1 = x_1 - t x_2$ et $z_2 = x_2$, on la note alors $\tilde{\phi}$. Une analyse de Fourier dans ces nouvelles variables donne la formule

$$\widehat{\tilde{\phi}}(k, \eta) = \frac{-\widehat{\tilde{\omega}}_0(k, \eta)}{k^2 + |\eta - tk|^2}.$$

Celle-ci montre que pour $k \neq 0$ (i.e. à part pour les moyennes en x_1 des solutions), les coefficients de Fourier de $\tilde{\phi}$ commencent par croître jusqu'à un temps critique η/k (le facteur d'amplification est alors de l'ordre de η^2/k^2 si η est grand devant k) puis finissent par tendre vers 0 en temps long. On a même une estimation quantitative de ce gain (qui nécessite de la régularité sur $\tilde{\omega}_0$). On peut alors revenir

aux variables initiales puis à la perturbation de vitesse $\tilde{u}$. Tous calculs faits cela donne la convergence suivante, pour s assez grand

$$\|\tilde{u}(t,.) - \overline{\tilde{u}}_{0,1}(x_2)e_1\|_{L^2} \leq \frac{C}{1+t}\|\tilde{\omega}_0\|_{H^s},$$

où $\overline{\tilde{u}}_{0,1}$ est la moyenne en x_1 de la première composante de la perturbation initiale. Il y a donc une forme de *dissipation cachée* dans ces équations pourtant non-dissipatives. Il est important de noter que $\tilde{u}$ ne converge pas vers 0 mais vers un profil de cisaillement possiblement non-linéaire en x_2.
Les équations considérées étant réversibles, on peut montrer que ce résultat de retour vers un équilibre pour les perturbations d'un écoulement de Couette impliquent en fait un résultat de non-stabilité (à la Lyapounov) pour ces équations : pour tout $\delta > 0$ il existe une perturbation initiale de U de taille δ dans L^2 telle que la solution associée des équations d'Euler linéarisées soit de taille 1 dans L^2 au bout d'un certain temps. Ceci n'est pas contradictoire avec le retour vers l'équilibre asymptotique mais confirme l'existence de comportements transitoires subtils.

On voit donc que, dès l'étude du système linéarisé, des phénomènes de stabilité/instabilité non-triviaux apparaissent et on imagine bien que la situation non-linéaire est bien plus complexe à analyser, notamment car il faut assurer que la phrase de croissance transitoire des perturbations (avant leur retour à l'équilibre) ne soit pas trop amplifiée à cause des non-linéarités de l'équation. Par ailleurs, la nouvelle variable d'intérêt $x_1 - tx_2$ doit maintenant être adaptée à l'écoulement considéré inconnu.
Le très joli résultat obtenu par Bedrossian et Masmoudi dans [4] peut s'écrire, dans une version simplifiée, de la façon suivante.

Théorème 1. *Pour deux espaces fonctionnels bien choisis*[7] B *et* B' *avec* $B \subset B'$ *il existe* $\delta > 0$ *tel que pour toute vitesse initiale* u_0 *proche de l'écoulement de Couette* U *(et dont la vorticité associée est notée* ω_0*) au sens suivant*

$$\|u_0 - U\|_{L^2} + \|\omega_0 - 1\|_B \leq \delta,$$

alors il existe un profil limite $x_2 \mapsto u_\infty(x_2) \in \mathbb{R}$*, une vorticité limite* $(x_1, x_2) \mapsto \omega_\infty(x_1, x_2) \in \mathbb{R}$*, et un historique de profil* $(t, x_2) \mapsto v(t, x_2) \in \mathbb{R}$ *tels que la solution associée des équations complètes d'Euler 2D satisfait*

$$\begin{cases} \|\omega(t, x_1 + tv(t, x_2), x_2) - \omega_\infty(x_1, x_2)\|_{B'} \leq C\dfrac{\delta^2}{1+t}, \\ \|u(t, x_1, x_2) - u_\infty(x_2)e_1\|_{L^2} + \|v(t, x_2) - u_\infty(x_2)\|_{B'} \leq C\dfrac{\delta}{1+t}. \end{cases}$$

Autrement dit, la solution des équations d'Euler converge en temps long vers un profil de type Couette qui est proche du profil linéaire (mais pas nécessairement

7. Ce sont des classes de Gevrey

égal) et dont la forme précise dépend de façon complexe de toute la dynamique de la solution.
Il y a donc également un effet de dissipation caché dans les équations d'Euler 2D non-linéaires et il aura fallu près d'un siècle pour que la justification complète et rigoureuse de ce phénomène soit donnée par N. Masmoudi et ses co-auteurs.
Il est remarquable que les techniques mises en oeuvre dans ce travail ont également permis à Bedrossian, Masmoudi et Mouhot [5] de porter un regard nouveau et précisé sur l'effet d'amortissement Landau en physique des plasmas étudié dans [8].

Équations de Navier-Stokes en 2D. On peut maintenant s'intéresser, toujours en dimension 2, à la stabilité de l'écoulement de Couette dans les équations de Navier-Stokes (la viscosité ε dans (1) est maintenant petite mais strictement positive). *A priori* la question semble plus simple car la viscosité va naturellement participer à la relaxation vers l'équilibre de la solution en temps long. Toute la problématique revient à obtenir des estimations uniformes en ε sur des intervalles de temps aussi long que possibles.
Plus précisément, on pourrait s'attendre à des effets visqueux qui apparaissent en des temps caractéristiques de l'ordre de ε^{-1}. Néanmoins, en regardant le problème modèle

$$\partial_t f + x_2 \partial_{x_1} f = \varepsilon \Delta f, \quad f(0,.) = f_0,$$

on peut observer que l'effet du cisaillement se combine avec le terme de viscosité et que cela produit une dissipation bien plus rapide (en dehors des modes indépendants de x_1). En effet, si on reprend le calcul en variable de Fourier ci-dessus on obtient

$$\hat{f}(t,k,\eta) = \hat{f}_0(k, \eta + kt) \exp\left(-\varepsilon \int_0^t \left[k^2 + |\eta - k\tau + kt|^2 \right] d\tau \right)$$

et ainsi tous les modes $k \neq 0$ sont dissipés en norme L^2 avec un taux en $e^{-c\varepsilon t^3}$ et les effets visqueux apparaissent donc bien plus tôt, autour du temps caractéristique $\varepsilon^{-1/3}$. Les modes $k = 0$ ne bénéficient pas des effets de cisaillement et sont donc seulement dissipés à un taux algébrique en εt.
Pour comprendre comment ces effets et les phénomènes d'amplification transitoire de certaines composantes de la solution influent la dynamique non-linéaire, il y a un travail technique très important pour contrôler les interactions non-linéaires qui pourraient empêcher la stabilité recherchée. Cela nécessite des méthodes d'analyse harmonique très fines et encore une fois l'utilisation de classes de Gevrey pour tenir compte des pertes de régularité inhérentes à ces interactions.
Le résultat obtenu par Bedrossian, Masmoudi et Vicol dans [6] s'exprime à peu près de la façon suivante.

Théorème 2. *Pour tout $\alpha \geq 1$, il existe $\delta > 0$ tel que pour toute donnée initiale vérifiant*

$$\|u_0 - U\|_{L^2} + \|\omega_0 - 1\|_B \leq \delta,$$

il existe un historique de profil $(t, x_2) \mapsto v(t, x_2) \in \mathbb{R}$ *tel que la solution des équations de Navier-Stokes 2D associée satisfait*

$$\begin{cases} \|\bar{\omega}(t, x_2)\|_{B'} + \|\bar{u}_1(t, x_2) - x_2\|_{L^2} \leq \dfrac{C\delta}{1 + |\varepsilon t|^{1/4}}, \\ \|\omega(t, x_1 + tv(t, x_2), x_2) - \bar{\omega}(t, x_2)\|_{B'} + \|u(t, x_1, x_2) - \bar{u}_1(t, x_2)e_1\|_{L^2} \leq \dfrac{C\delta}{1 + |\varepsilon t^3|^{\alpha}}. \end{cases}$$

Ce théorème dit donc que toute perturbation suffisamment petite de l'écoulement de Couette va retourner asymptotiquement vers celui-ci en temps long selon deux mécanismes : les variations en x_1 de la solution vont essentiellement bénéficier de la dissipation rapide sur un temps de l'ordre de $\varepsilon^{-1/3}$ discutée ci-dessus (même si le caractère exponentiel est remplacé par une décroissance algébrique aussi rapide que souhaité), alors que les moyennes en x_1 sont seulement dissipées par la dissipation parabolique usuelle sur des temps caractéristiques en ε^{-1}. Contrairement aux équations d'Euler, le profil de cisaillement limite est nécessairement le profil linéaire, à cause des termes de dissipation dans la variable x_2. Il est à noter que ce résultat est valable pour des tailles de perturbations initiales indépendantes de la viscosité ε.
Même si ce résultat ressemble beaucoup à son pendant pour les équations d'Euler, il faut noter que la définition du changement de coordonnées adapté $(t, x_2) \mapsto v(t, x_2)$ est plus délicate car il incorpore des effets visqueux.

Les équations de Navier-Stokes 3D Le cas tridimensionnel est bien plus délicat que le cas 2D pour plusieurs raisons. L'une d'entre elles est liée à la relativement faible rigidité de la contrainte de divergence nulle du champ de vitesse en 3D. Ainsi, on a vu en 2D (et c'est encore essentiellement vrai en 3D) que l'effet du cisaillement (dans la direction x_1) a pour effet de rendre les solutions essentiellement indépendantes de x_1 quand t devient grand. La condition de divergence nulle donnait alors

$$\partial_{x_2} u_2 = -\partial_{x_1} u_1 \to 0,$$

et comme $\partial_{x_1} u_2$ tend aussi vers 0, on trouve que u_2 converge vers une constante nécessairement nulle pour des raisons d'intégrabilité. En conséquence, en dimension 2, on déduit assez aisément de façon formelle que le champ de vitesse va converger vers un champ de la forme d'un cisaillement $u_\infty(x_2)e_1$.
Dans le cas de la dimension 3, cet argument ne tient plus car si on admet que les variations en x_1 des solutions continuent à tendre vers 0 en temps long, alors la condition de divergence nulle donne seulement que

$$\partial_{x_2} u_2 + \partial_{x_3} u_3 = -\partial_{x_1} u_1 \to 0.$$

De cette information on ne déduit plus que u_2 et u_3 tendent vers 0 sans utiliser d'autres arguments. Ce manque de rigidité se manifeste aussi par le fait qu'il existe un grand nombre de solutions des équations de Navier-Stokes 3D indépendantes

de x_1 mais qui ne soient pas des profils de cisaillement. Ces solutions particulières jouent un rôle très important dans l'analyse du problème.

Une autre façon de comprendre ces difficultés inhérentes à la dimension 3 consiste à écrire l'équation satisfaite par la vorticité $\omega = \operatorname{rot} u$ (qui est maintenant un champ vectoriel) et qui s'écrit

$$\partial_t \omega + (u \cdot \nabla)\omega = (\omega \cdot \nabla)u + \varepsilon \Delta \omega.$$

Si on linéarise autour de l'écoulement de Couette, comme nous l'avons fait plus haut, cette équation devient

$$\partial_t \tilde{\omega} + x_2 \partial_{x_1} \tilde{\omega} = \tilde{\omega}_2 e_1 + \varepsilon \Delta \tilde{\omega}.$$

La composante $\tilde{\omega}_3$ vérifie une équation similaire à celle de la vorticité pour le cas 2D, mais les deux autres composantes en revanche satisfont un système **couplé** plus complexe (non-normal) qui s'écrit

$$\partial_t \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_1 \\ \tilde{\omega}_2 \end{pmatrix} + x_2 \partial_{x_1} \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_1 \\ \tilde{\omega}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_2 \\ 0 \end{pmatrix} + \varepsilon \Delta \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_1 \\ \tilde{\omega}_2 \end{pmatrix}.$$

On comprend alors que pour $t \leq \varepsilon^{-1}$, c'est-à-dire avant que les effets de la diffusion ne se ressentent, la composante $\tilde{\omega}_1$ va croître linéairement en temps du fait de la présence du terme $\tilde{\omega}_2$ dans le second membre. Pour ε petit, on peut donc s'attendre à une croissance d'un facteur ε^{-1} de la perturbation $\tilde{\omega}$ qui risque d'avoir des effets très importants dans le modèle complet non linéaire. On s'attend donc à ce que, contrairement au cas 2D, la taille du bassin de stabilité de l'écoulement de Couette dépende de la viscosité ε.

Tous ces petits calculs simples illustrent le fait que l'étude de la stabilité de l'écoulement de Couette en 3D pour ε petit est une affaire d'un niveau de difficulté encore plus important que les précédents cas évoqués. C'est donc un tour de force que Bedrossian, Germain et Masmoudi ont réussi sur ce sujet dans une série de travaux [1, 2, 3]. Ils ont ainsi décrit précisément la taille, en fonction de ε, des perturbations de l'écoulement de Couette pour lesquelles la solution reste à distance bornée de cet écoulement puis finit par retourner vers un profil de cisaillement en temps long. Ils ont également étudié le comportement des solutions pour des perturbations à peine plus grandes que cette taille critique en montrant qu'elles existent au moins jusqu'au temps $\varepsilon^{-2/3}$ et que, selon toute vraisemblance, un phénomène d'instabilité secondaire a toutes les chances de se produire après ce temps critique. Il est remarquable de noter que les seuils critiques identifiés pour cette (in-)stabilité dépendent encore une fois de la topologie utilisée pour mesurer les solutions et les résultats sont de fait différents si on s'intéresse aux perturbations petites en norme Sobolev ou en norme Gevrey.

Bibliographie

[1] Jacob Bedrossian, Pierre Germain, and Nader Masmoudi. Dynamics near the subcritical transition of the 3D Couette flow I : Below threshold case. 2015. arXiv 1506.03720.

[2] Jacob Bedrossian, Pierre Germain, and Nader Masmoudi. Dynamics near the subcritical transition of the 3D Couette flow II : Above threshold case. 2015. arXiv 1506.03721.

[3] Jacob Bedrossian, Pierre Germain, and Nader Masmoudi. On the stability threshold for the 3D Couette flow in Sobolev regularity. *Ann. of Math. (2)*, 185(2) :541–608, 2017.

[4] Jacob Bedrossian and Nader Masmoudi. Inviscid damping and the asymptotic stability of planar shear flows in the 2D Euler equations. *Publ. Math. Inst. Hautes Études Sci.*, 122 :195–300, 2015.

[5] Jacob Bedrossian, Nader Masmoudi, and Clément Mouhot. Landau damping : paraproducts and Gevrey regularity. *Ann. PDE*, 2(1) :Art. 4, 71, 2016.

[6] Jacob Bedrossian, Nader Masmoudi, and Vlad Vicol. Enhanced dissipation and inviscid damping in the inviscid limit of the Navier-Stokes equations near the two dimensional Couette flow. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 219(3) :1087–1159, 2016.

[7] Sir W. Thomson LL.D. F.R.S. Stability of fluid motion-rectilineal motion of viscous fluid between two parallel planes. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 24(147) :188–196, 1887.

[8] Clément Mouhot and Cédric Villani. On Landau damping. *Acta Math.*, 207(1) :29–201, 2011.

[9] William M'F. Orr. The stability or instability of the steady motions of a perfect liquid and of a viscous liquid. Part I : A perfect liquid. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section A : Mathematical and Physical Sciences*, 27 :9–68, 1907.

Hommage à Christine Bernardi

Christine Bernardi (18 mai 1955 – 11 mars 2018)

Communiqué par Vivette Girault

Christine Bernardi est partie et nous laisse un vide immense. Elle était entrée au CNRS en 1979 et nous avons partagé toutes les deux le même bureau pendant presque quarante ans, en somme toute une vie... Elle était une figure centrale du Laboratoire d'Analyse Numérique de Paris VI, devenu ensuite le Laboratoire Jacques-Louis Lions (LJLL). Par sa très forte personnalité, son optimisme, sa générosité, son splendide talent mathématique, son engagement envers la communauté, ses qualités humaines, son caractère à la fois avenant, affable et calme, elle a considérablement marqué ceux qui l'ont connue, en particulier ses collègues en France et à l'étranger.

Christine et ses co-auteurs en France et ailleurs

Quand on lit son CV, ce qui frappe tout d'abord, c'est le nombre très important de ses co-auteurs. On en compte 83, et c'est une fourchette basse parce que ses derniers travaux ne sont peut-être pas tous répertoriés. Ce très grand nombre en dit long sur son ouverture aux autres et sa capacité à travailler avec eux.

... en France

Je ne citerai pas tous ses collaborateurs français, juste les trois avec lesquels elle a le plus publié. D'abord Yvon Maday, avec qui, dès 1985, elle a commencé à travailler sur l'analyse numérique des méthodes spectrales. C'est de loin la personne avec laquelle elle a le plus d'articles en commun : 48 publications, à raison de 3 à 5 par an!!! Après viennent Frédéric Hecht et Faker Ben Belgacem.

... à l'international

Parmi ses co-auteurs, plus des deux tiers sont étrangers. La plus grande partie vient de Tunisie, du Maroc et d'Algérie, où elle a dirigé un grand nombre de thèses. Beaucoup viennent d'Italie, surtout de Pavie, et d'Espagne, surtout de l'Université de Séville. Mais elle a aussi des co-auteurs en Angleterre, à Chypre, en Allemagne, au Japon, au Liban, aux États-Unis...

Ses collaborations scientifiques nationales et internationales

Le nombre remarquable de ses co-auteurs n'est pas un fruit du hasard, il est lié au grand nombre de collaborations montées par Christine, aussi bien en France qu'à l'étranger.

... nationales

Elle a monté et dirigé de 1994 à 1999 le GDR 1135 dont le principal objet était l'organisation d'environ deux rencontres par an (l'une a eu lieu à Tunis et une autre à Pavie) sur le couplage fluide–structures, la prise en compte de réactions chimiques, la modélisation de la pollution... C'est dans ce cadre que le premier CEMRACS a été organisé en 1996.

... internationales

Sa collaboration la plus importante fut avec les pays du Maghreb et du Proche Orient, en particulier avec la Tunisie et le Maroc. Elle y a dirigé un nombre considérable de thèses et a continué à publier avec ses anciens étudiants et avec d'autres membres des laboratoires d'appartenance de ses étudiants, par exemple Zoubida Mghazli et Saloua Aouadi. Récemment encore, elle dirigeait la thèse de Serena Dib en co-tutelle avec l'Université Saint-Joseph de Beyrouth.

Christine avait une profonde affinité avec les pays du Maghreb, ce qui fait qu'elle travaillait depuis longtemps avec des collègues originaires de cette région, maintenant installés en France ; je pense à Mohamed Amara, Adel Blouza, Mejdi Azaïez, Faker Ben Belgacem, Linda El Alaoui, Zakaria Belhachmi...

Par ailleurs, elle avait des collaborations suivies avec l'Espagne et l'Italie, plus précisément avec le Departamento de Ecuaciones Diferenciales y Análisis Numérico de l'Université de Séville, voir son importante collaboration avec Tomás Chacón, et avec l'Istituto di Matematica Aplicata e Tecnologie Informatiche « Enrico Magenes » de l'Université de Pavie. Elle était l'organisatrice pour le LJLL du séminaire Franco–Italien FRIT, qu'elle avait contribué à créer avec Silvia Bertoluzza, dans le but de développer les collaborations scientifiques en mathématiques appliquées entre chercheurs français et italiens. On peut aussi citer sa longue collaboration avec Rüdiger Verfürth, de la Ruhr Universität de Bochum.

Et puis, étant experte en éléments finis (mais pas que) Christine était une des organisatrices de la Foire aux Élements Finis, l'analogue européen des rencontres aux États-Unis des Finite Element Circus et Finite Element Rodeo. Elle y tenait beaucoup, au point d'y avoir participé en 2015 à Prague, alors que son état de santé ne le lui permettait raisonnablement pas.

Ses activités au service de la communauté

En plus de son travail de recherche, Christine participait activement au bon fonctionnement de la communauté, scientifique ou non.

... la vie scientifique

Comme je l'ai dit plus haut, elle avait mis sur pied le GDR 1135, ce qui n'avait pas été une mince affaire, et l'avait dirigé pendant six ans. Elle fut en outre membre du Comité National de la Recherche Scientifique pendant cinq ans et membre du Steering Committee de l'Institut Isaac Newton de Cambridge pendant quatre ans. Du point de vue éditorial, elle a été bien sûr membre de plusieurs comités éditoriaux, mais surtout elle fut co-éditrice en chef, à la demande de David Gottlieb, du Journal of Scientific Computing pendant presque dix ans, un sacré gros travail.

Elle avait aussi contribué à la pérennisation de la série des ICOSAHOM, en organisant à Montpellier la seconde édition, qui a en fait transformé un congrès isolé en une série internationale de manifestations. Un prix portant son nom sera décerné cet été lors de la 12e édition d'ICOSAHOM à une jeune mathématicienne ayant contribué de façon remarquable aux méthodes numériques d'ordre élevé.

Évidemment, Christine faisait partie du Conseil du LJLL. Elle fut, en 2003, l'initiatrice des Journées Internes du Laboratoire Jacques-Louis Lions, les JILL : une initiative originale qui vise à faire connaitre les résultats des recherches des membres du LJLL au sein même de celui-ci.

Enfin, même si ceci ne rentre pas tout-à-fait dans les activités scientifiques, elle a été syndiquée au SNCS pendant presque toute sa carrière.

... la vie tout court

Elle adorait le café... Un jour elle a en eu assez du café filtre ordinaire de la salle de café, et elle a décidé de louer une machine moderne de type expresso (une nouveauté à cette époque), de l'installer dans notre bureau et d'acheter des dosettes de café, pour les vendre à prix coûtant, donc imbattable. Elle fut pendant longtemps responsable du café du labo, au point que cela figurait dans son rapport d'activité au CNRS. Pendant des années, il s'échappait du bureau un petit parfum de cet élixir à théorèmes, très populaire.

Elle ne manquait jamais une occasion de faire un gentil cadeau à ses proches collègues lors de grandes occasions comme naissances ou mariage.

Elle savait faire partager les moments heureux de sa vie. Je me souviens avec bonheur de la fête qu'elle et son mari Dominique ont donnée lors de leurs 25 ans de mariage.

Elle était au service de tous. Profondément croyante, elle participait aux activités de la communauté religieuse de Saint-Etienne du Mont, et à la marche de Chartres quand elle était plus jeune.

Christine et la technologie

Était-ce l'influence de Dominique ? Toujours est-il que Christine avait adopté avec passion les nouvelles technologies. Elle faisait partie de la « clique des quatre » [1] avec Dominique Bernardi, Frédéric Hecht et Olivier Pironneau, toujours à la pointe du progrès. Évidemment, Christine a eu un téléphone portable bien avant beaucoup de ses collègues. À une certaine époque, elle le portait avec une chaîne autour du cou. De même que pour les nouvelles machines à café, elle avait adopté le Mac, dès le début. Elle a même mentionné son Mac dans la page de remerciements de sa thèse, réalisée avec la célèbre fonte « Palaiseau » et ses fameux indices et exposants « stationnaires » d'avant l'adoption de TeX et LaTeX par nos laboratoires, que nos jeunes n'ont pas connue. Quand elle a accouché de Louise, sa petite dernière, elle avait son Mac dans sa chambre à la clinique. Les infirmières émerveillées, qui n'avaient jamais vu un tel engin, passaient dans cette chambre rien que pour voir le Mac. C'était le temps où les infirmières avaient le temps...

Christine et les mathématiques

Les mathématiques ont joué un rôle de première importance dans la vie Christine. C'était au point que lors de sa dernière maladie, au début de son premier séjour à l'hôpital, elle a téléphoné à Adel Blouza pour lui annoncer qu'elle avait trouvé

1. Qui se souvient de la bande des quatre ?

une estimation optimale pour le problème sur lequel ils travaillaient. Et lors d'une des dernières conversations téléphoniques que nous avons eues ensemble, elle m'a demandé si je savais comment faire pour résoudre la question d'analyse a posteriori sur laquelle on butait.

Christine avait un pouvoir d'abstraction extraordinaire. Elle parvenait à faire de tête une grande partie de ses calculs. Au début, quand je l'ai connue, elle écrivait des brouillons de démonstrations sur des petits cahiers d'écoliers (avec des petites lignes). Je l'entendais qui marmonnait : « Je crois que ça marche... ». Après l'avènement des Mac, elle a abandonné les petits cahiers et a tapé directement les brouillons de ses articles.

Christine n'était jamais aussi contente que quand elle soumettait un article, c'était une grande joie pour elle.

Christine n'était pas que spécialiste de l'analyse numérique a priori et a posteriori des méthodes d'éléments finis. Elle avait une fort bonne connaissance de l'analyse fonctionnelle, ce qui lui permettait de mener à bien l'analyse théorique des problèmes aux limites qu'elle devait approcher. Elle maîtrisait les difficultés causées par des singularités, telles que celles qui proviennent de problèmes axi-symétriques, ou qui sont causées par des coins aux frontières des domaines. Ceci explique sa grande amitié et sa longue et fructueuse collaboration avec Monique Dauge d'abord et plus tard aussi avec Martin Costabel.

Elle avait aussi considérablement contribué à la théorie de la méthode des éléments spectraux et à celle de la méthode de décomposition de domaine. Son analyse théorique avait beaucoup impressionné David Gottlieb au cours des séjours de ce dernier en France. Pour sa publication la plus citée, avec Yvon Maday et Tony Patera sur la « mortar method » en théorie de décomposition de domaine, elle avait insisté pour trouver un nom bien français « la méthode des éléments avec joint ». Mais, bien sûr, chacun a ses préférences et de tous ses travaux, celui que j'aime le plus est un article de Christine en commun avec Monique Dauge, Martin Costabel et moi étudiant le comportement de la constante de la condition inf-sup lorsqu'on approche la frontière du domaine. C'est un résultat qui, sous des dehors anodins, est assez coriace et l'apport de Christine a été déterminant.

Ce que Christine aimait

Dans la page Web de Christine Bernardi, il y a une liste de choses qu'elle aime ; les voici dans l'ordre (les commentaires en italique sont les miens, ou m'ont été suggérés par des collègues) :

1. Penser à des mathématiques.
   Pardi!!!

2. Faire de la cuisine.
   Effectivement, elle faisait très bien la cuisine, et aimait aussi découvrir de nouveaux bons restaurants. Elle aimait apprendre des nouvelles recettes venues d'ailleurs. Bien sûr, elle tapait le texte de ses recettes sur Mac.
3. Jouer avec la langue grecque.
   Je ne savais pas. Mais on m'a dit qu'elle avait hésité entre le grec et les mathématiques dans sa jeunesse. Et ceci explique peut-être son affinité avec ses collègues chypriotes.
4. Nager dans des mers pas trop chaudes.
   Oui, même dans les derniers temps, elle adorait nager à Cabourg. Elle n'avait jamais froid, portait des sandales la plupart du temps, et passait directement des sandales aux bottes quand il faisait vraiment très froid.
5. Jouer aux cartes ou faire des réussites.
   En effet, nous avons parfois partagé une chambre quand nous allions en congrès et elle faisait le soir des réussites sur son Mac.
6. Visiter un musée de peinture.
   Oui, nous en avons visité ensemble et avec grand plaisir.
7. Assister à un concert de temps en temps.
   Oui, elle aimait la musique et avait fait de la danse classique dans son enfance.

Quelques mots de consolation

Christine est partie, mais comme le site

http://www.inmemori.com/cbernardi

nous le montre, son souvenir est bien là. Sa chaleur, sa présence, son enthousiasme, son amitié et son sourire nous accompagneront longtemps. Merci, Christine, pour tout ce que tu nous as apporté.

Photo de la promotion ENS Ulm 1940 (à gauche), Jean-Louis Koszul à la conférence GSI'13 à l'Ecole des Mines de Paris en Aout 2013 (à droite)

Hommage à Jean-Louis Koszul

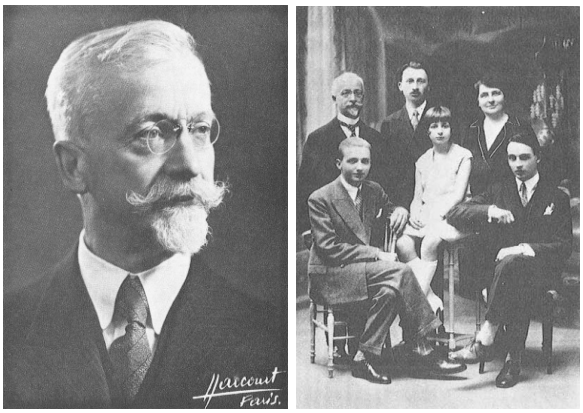
Jean-Louis Koszul et les structures élémentaires de la Géométrie de l'Information

Communiqué par F. Barbaresco, Thalès, Département recheche et technologie.

Constater que les théories les plus parfaites sont les guides les plus sûrs pour résoudre les problèmes concrets ; avoir assez confiance en sa science pour prendre des responsabilités techniques. Puissent beaucoup de mathématiciens connaître un jour ces joies très saines, quelques humbles qu'ils les jugent !' - Jean Leray.

Nous allons dans cet article rendre hommage à une partie de l'œuvre du Professeur Jean-Louis Koszul, rappeler les apports fondamentaux des modèles mathématiques de ce grand algébriste et géomètre dans le domaine des sciences géométriques de l'information, qui ont de nombreuses applications dans le domaine des mathématiques appliquées, et dans le domaine émergent de l'Intelligence Artificielle où les algorithmes les plus performants sont bâtis sur le gradient naturel de la géométrie de l'Information déduit de la matrice de Fisher, comme l'a montré récemment Yann Ollivier [34, 35].

Fort de la tradition mathématique française, et des enseignements de son maître Elie Cartan, Jean-Louis Koszul a été un éclaireur et un réel avant-gardiste, si on reprend la définition donnée par Clausewitz « Une avant-garde est un groupe d'unités destiné à se déplacer devant l'armée pour : explorer le terrain afin d'éviter



Le professeur Elie Cartan (à gauche), la famille Cartan (à droite)

les surprises, occuper rapidement les positions fortes du champ de bataille (points hauts), faire écran et contenir l'ennemi le temps que l'armée puisse se déployer. ». En effet, Jean-Louis Koszul a été un pionnier et a défriché de nombreux domaines des mathématiques, décrits dans l'ouvrage "Selected papers of J.L. Koszul" [1]. Ce que nous exposerons ici n'est donc qu'un volet de son l'œuvre qui concerne l'étude des domaines bornés homogènes, sur la base des travaux antérieurs d'Elie Cartan sur les domaines bornés symétriques. Dans une lettre d'André Weil à Henri Cartan, publiée dans les actes du colloque *Elie Cartan et les mathématiques d'aujourd'hui* de 1984, on peut lire "*Quant aux espaces symétriques, et plus particulièrement aux domaines bornés symétriques à la naissance desquels tu as contribué, j'ai gardé le vif souvenir de la satisfaction que j'éprouvai à en retrouver des incarnations chez Siegel dès ses premiers travaux sur les formes quadratiques, et par la suite à convaincre Siegel de la valeur des idées de ton père sur le sujet.*". A ce colloque de 1984, deux disciples d'Elie Cartan y donnent une conférence, Jean-Louis Koszul [3] et Jean-Marie Souriau.

Dans l'ouvrage « Selected papers of J.L. Koszul » [1], Koszul résume ainsi les travaux que nous allons détailler dans la suite : « C'est au problème de la détermination des domaines bornés homogènes posé par E. Cartan vers 1935 que se rattache [mes articles]. L'idée d'aborder la question par les biais des formes hermitiennes invariantes apparaît déjà explicitement chez Cartan. Cela conduit à une approche algébrique qui constitue l'essentiel du travail de Cartan et qui, avec les J-algèbres de Lie, a été poussée beaucoup plus loin par l'Ecole Russe [19-32]. Ce sont les travaux de Piatetski Shvapiro sur les domaines de Siegel, puis ceux de de E.B. Vinberg sur les cônes homogènes qui m'ont amené à l'étude des groupes de transformation affines des variétés localement plates et en particulier aux critères de convexité liés aux formes invariantes. ». En particulier, J.L. Koszul a trouvé une

des sources de son inspiration dans cette dernière phrase de l'article d'Elie Cartan de 1935 [2] : "*Il est clair que si l'on parvenait à démontrer que tous les domaines homogènes dont la forme* $\Phi = \sum_{i,j} \frac{\partial^2 \log K(z,z^*)}{\partial z_i \partial z_j^*} dz_i dz_j$ *est définie positive sont symétriques, toute la théorie des domaines bornés homogènes serait élucidée. C'est là un problème de géométrie hermitienne certainement très intéressant* ".

Il faudra attendre 1953 pour que la classification des espaces symétriques non Riemanniens soit achevée par Marcel Berger. Les travaux de Koszul ont également été étendus et approfondis par l'un de ses étudiant Jacques Vey dans [14] et [15]. Jacques Vey a transposé la notion d'hyperbolicité, développé par W. Kaup pour les surfaces de Riemann, dans la catégorie des variétés différentiables à connexion linéaire plate (variétés localement plates), ce qui permet de caractériser complètement les variétés localement plates admettant comme revêtement universel un ouvert convexe saillant de $\mathbb{R}^n$, lesquelles avaient été étudiées par Koszul dans [9]. Les liens des travaux de Koszul avec ceux de Ernest B. Vinberg [19-26] ont été rappelé récemment, lors de la conférence "*Transformation groups 2017*" à Moscou dédiée au 80ème anniversaire du professeur E.B. Vinberg, lors de l'exposé du Professeur Dmitri Alekseevsky "*Vinberg's theory of homogeneous convex cones : developments and applications* " [16]. Koszul et Vinberg sont effectivement associés à la notion de fonction caractéristique dite de Koszul-Vinberg sur les cônes convexes saillants, que nous développerons dans la suite. Dans le cadre de cette étude, Koszul a introduit les formes dites de Koszul et une métrique canonique donnée par le hessien de l'opposée du logarithme de cette fonction caractéristique de Koszul-Vinberg, dont nous verrons les liens avec la métrique de Fisher en Géométrie de l'Information, dont elle généralise le domaine d'application.

Les articles principaux du Professeur Koszul qui fondent les structures élémentaires de la géométrie de l'information sont les suivants :

Sur la forme hermitienne canonique des espaces homogènes complexes [5] de 1955 Koszul y considère la forme hermitienne d'une variété homogène G/B (G groupe de Lie connexe et B un sous-groupe fermé de G, associé, à un facteur constant près, à l'unique volume invariant par G, et à la structure complexe invariante par les opérations de G). Koszul précise "*L'intérêt que présente cette forme pour la détermination des domaines bornés homogènes a été souligné par E. Cartan : une condition nécessaire pour que* G/B *soit un domaine borné est en effet que cette forme soit définie positive* ". Koszul calcule cette forme canonique à partir des données infinitésimales de l'algèbre de Lie de G, la sous-algèbre qui correspond à B et un endomorphisme de l'algèbre définissant la structure complexe invariante de G/B. Les résultats obtenus par Koszul prouvent que les domaines bornés homogènes dont le groupe des automorphismes est semi-simple sont des domaines bornés symétriques au sens d'Elie Cartan. Koszul fait référence aux

travaux d'André Lichnerowicz sur les espaces homogènes Kählériens [28]. Koszul y introduit une forme de degré 1 invariante à gauche sur G :
$\Psi(X) := \mathrm{Tr}_{g/b}[\mathrm{ad}(JX) - J.\mathrm{ad}(X)] \quad \forall X \in g$ avec J un endomorphisme de l'espace de l'algèbre de Lie et la trace $\mathrm{Tr}_{g/b}[.]$ correspondant à celle de l'endomorphisme de g/b. La forme de Kähler de la forme hermitienne canonique est donnée par la différentielle de $-1/4\Psi(X)$ de cette forme de degré 1.

Exposés sur les espaces homogènes symétriques [6] de 1959 est un cours rédigé dans le cadre d'un séminaire tenu en Septembre et Octobre 1958 à l'université de Sao-Paulo, qui détaille la détermination des domaines bornés homogènes. Il revient sur [5] et montre que tout domaine borné symétrique est produit direct de domaines bornés symétriques irréductibles, déterminés par Elie Cartan (4 classes correspondant aux groupes classiques et 2 domaines exceptionnels). Pour l'étude des domaines bornés symétriques irréductibles, Koszul renvoie à Elie Cartan, Carl-Ludwig Siegel et Loo-Keng Hua. Koszul illustre le sujet avec 2 cas particuliers, le demi-plan de Poincaré et le demi-espace de Siegel, et montre qu'avec sa formule de trace de l'endomorphisme de g/b, il retrouve que les formes de Kähler des formes hermitiennes canoniques et les métriques associées sont bien celles introduites par Henri Poincaré et Carl-Ludwig Siegel [27] (qui les ont introduites en cherchant des métriques invariantes par les automorphismes de ces espaces).

Domaines bornées homogènes et orbites de groupes de transformations affines [7] de 1961 est écrit par Koszul à l'Institut for Advanced Study à Princeton pendant un séjour financé par la National Science Foundation. Sur un espace homogène complexe, un volume invariant définit avec la structure complexe la forme hermitienne invariante canonique introduite dans [5]. Si l'espace homogène est holomorphiquement isomorphe à un domaine borné d'un espace C^n , cette forme hermitienne est définie positive, car elle coïncide avec la métrique de Bergmann du domaine. Koszul démontre dans cet article la réciproque de cette proposition pour une classe d'espaces homogènes complexes. Cette classe est constituée par certaines orbites ouvertes de groupes de transformation affines complexes et contient tous les domaines bornés homogènes. Koszul adresse à nouveaux le problème de savoir si un espace homogène complexe, dont la forme hermitienne canonique est définie positive, est isomorphe à un domaine borné, mais via l'étude de la forme bilinéaire invariante définie sur un espace homogène réel par la donnée d'un volume invariant et d'une connexion plate invariante. Koszul démontre que si cette forme bilinéaire est définie positive alors l'espace homogène muni de sa connexion plate est isomorphe à un ouvert convexe ne contenant pas de droite dans un espace vectoriel réel et l'étend au problème initial pour les espaces homogènes complexes obtenus en définissant une structure complexe dans la variété des vecteurs d'un espace homogène réel muni d'une connexion plate invariante. C'est dans cet article que Koszul utilise la représentation affine des groupes et algèbres de Lie. En étudiant les orbites ouvertes des représentations affines, Il introduit

une représentation affine de G dans E , écrite par $(\mathbf{f}, \mathbf{g})$ et l'équation suivante en posant f la représentation linéaire de l'algèbre de Lie $\mathfrak{g}$ de G , définie par f et q la restriction à g à la différentielle de $\mathbf{q}$ (f et q les différentielles de $\mathbf{f}$ et $\mathbf{q}$ respectivement) :

$$f(X)q(Y) - f(Y)q(X) = q([X,Y]), \forall X, Y \in \mathfrak{g}$$
$$\text{avec } f : \mathfrak{g} \to gl(E) \text{ et } q : \mathfrak{g} \to E.$$

Ouverts convexes homogènes des espaces affines [8] de 1962 Koszul s'intéresse dans cet article à la structure des ouverts convexes Ω non-dégénérés (ne contenant pas de droite) et homogènes (le groupe des transformations affine de E laissant stable Ω opère transitivement dans Ω) dans un espace affine réel de dimension finie. Koszul démontre qu'ils se déduisent tous de cônes ouverts convexes non-dégénérés et homogènes construits dans [7]. Il utilise pour cela les propriétés du groupe des transformations affines laissant stable un ouvert convexe non dégénéré et homogène.

Variétés localement plates et convexité [9] de 1965 Koszul y établi le théorème suivant : soit M une variété différentiable localement plate connexe. Si le revêtement universel de M est isomorphe en tant que variété plate à un ouvert convexe ne contenant pas de droite dans un espace affine réel, il existe sur M une 1-forme différentielle fermée α telle que $D\alpha$ (D dérivation covariante linéaire de torsion nulle) soit définie positive en tout point et qui est invariante par tout automorphisme de M. Si G est un groupe d'automorphismes de M tel que $G\backslash M$ soit quasi-compact et si il existe sur M une 1-forme différentielle fermée α invariante par G et telle que $D\alpha$ soit définie positive en tout point, alors le revêtement universel de M est isomorphe en tant que variété plate à un ouvert convexe ne contenant pas de droite dans un espace affine réel.

Lectures on Groups of Transformations [10] de 1965 Il s'agit de prises de notes du cours donné par Koszul au « Tata Institute of Fundamental Research » de Bombay sur les groupes de transformation. En particulier dans le chapitre 6, Koszul étudie les groupes linéaires discrets agissant sur des cônes ouverts convexes dans des espaces vectoriels basés sur les travaux de C.L. Siegel (travaux sur les formes quadratiques). Koszul y utilise, ce que nous nommerons dans la suite fonction caractéristique de Koszul-Vinberg sur un cône convexe saillant.

Déformations des variétés localement plates [11] de 1968 Koszul redémontre des théorèmes introduits dans [9]. Koszul considère des variétés différentiables connexes de dimension n et TM l'espace fibré des vecteurs de M. Les connexions linéaires sur M constituent un sous-espace de l'espace des applications différentiables du produit fibré $TM \times TM$ dans l'espace $T(TM)$ des vecteurs de

TM. Toute connexion D localement plate (dont la courbure et la torsion sont nulles) définit une connexion localement plate sur les revêtements de M, et est dit hyperbolique lorsqu'un revêtement universel de M, muni de cette connexion, est isomorphe à un ouvert convexe saillant (ne contenant pas de droite) dans $\mathbb{R}^n$. Koszul montre que, si M est une variété compacte, pour qu'une connexion localement plate sur M soit hyperbolique, il faut et il suffit qu'il existe une forme différentielle fermée de degré 1 sur M dont la différentielle covariante est définie positive

Trajectoires Convexes de Groupes Affines Unimodulaires [12] en 1970 Koszul démontre qu'un ouvert convexe saillant dans $\mathbb{R}^n$ qui admet un groupe transitif unimodulaire d'automorphismes affines est un cône auto-dual. Il s'agit d'une démonstration plus géométrique de résultats montrés par Ernest Vinberg [18] sur les automorphismes des cônes convexes.

Les structures géométriques élémentaires découvertes par Jean-Louis Koszul constituent les fondations de la Géométrie de l'Information. Ces structures communes ont été pour la première fois mises en regard par le Professeur Hirohiko Shima [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]. Ce socle commun a été en particulier cristallisé dans l'ouvrage de Shima de 2007 « The Geometry of Hessian Structures » [26], qui est dédié au Professeur Koszul. L'origine de cet ouvrage fait suite au voyage de Koszul au Japon en 1964, en mission pour le gouvernement français. Koszul donna des cours sur la théorie des variétés plates à l'université d'Osaka. Hirohiko Shima était alors élève et assista à ces cours avec les professeurs Matsushima and Murakami. Ce cours fut à l'origine de la notion de structures hessiennes et le début des travaux de Hirohiko Shima. Henri Cartan nota concernant les liens de Koszul avec le Japon, " Koszul a su attirer à Strasbourg, puis à Grenoble, d'éminents mathématiciens venant de l'étranger. Je voudrais en particulier mentionner les liens qu'il a su établir avec des représentants de l'Ecole Japonaise de Géométrie différentielle ". Le livre de Shima [26] est une introduction systématique à la théorie des structures hessiennes (données par une paire d'une connexion plate D et d'une métrique hessienne g). Koszul a étudié les variétés plates dotées d'une 1-forme fermée α, telle que $D\alpha$ soit définie positive, selon laquelle $D\alpha$ est une métrique de hessienne. Cependant, toutes les métriques hessiennes ne sont pas globalement de la forme $g = D\alpha$. Shima y introduit la notion de structure de Codazzi pour une paire (D, g), avec D une connexion sans torsion, vérifiant les équations de Codazzi $(D_X g)(Y, Z) = (D_Y g)(Z, X)$. . Une structure hessienne est une structure de Codazzi pour laquelle la connexion D est plate. Il s'agit d'une extension de la géométrie Riemannienne. Il est alors possible de définir une connexion D' et une structure de Codazzi (D', g) duales avec $D' = \nabla - D$ avec ∇ la connexion de Levi-Civita. Pour une structure hessienne (D, g) avec $g = Dd\varphi$, la structure de Codazzi duale (D', g) est aussi une structure hessienne et $g = D'd\varphi'$, ou φ' est la transformée de Legendre de φ : $\varphi' = \sum_i x^i \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} - \varphi$. . Shima observa que la Géomé-

De gauche à droite, Jean-Louis Koszul, Hirohiko Shima et Michel Nguiffo Boyom à la conférence GSI'13 à l'Ecole des Mines de Paris en Aout 2013

trie de l'Information a pour cadre l'étude de la théorie de l'information du point de vue des connections duales, comme l'avaient initiée Fréchet, Rao et Chentsov [29]. Une structure hessienne (D, g) est de type Koszul, s'il existe une 1-forme fermée ω telle que $g = D\omega$. En utilisant D et l'élément de volume de g, Koszul a introduit une 2e forme, qui joue un rôle similaire au tenseur de Ricci pour une métrique Kählérienne. Soit ν l'élément de volume de g , on définit une 1-forme fermée α telle que $D_X\nu = \alpha(X)\nu$ et une forme bilinéaire symétrique $\gamma = D\alpha$. Les formes α et γ sont appelées 1e et 2e formes de Koszul pour une structure hessienne (D, g). On peut considérer les formes associées à la structure hessienne duale (D', g) par $\alpha' = -\alpha$ et $\gamma' = \gamma - 2\nabla\alpha$. Dans le cas d'un cône convexe régulier homogène Ω , les formes de Koszul α et γ pour la structure hessienne canonique $(D, g = Dd\psi)$ sont données par $\alpha = d\log\psi$ et $\gamma = g$. L'élément de volume ν déterminé par g est invariant sous l'action du groupe des automorphismes G de Ω.

Jean-Louis Koszul nous avait fait l'honneur de participer à la 1ère conférence GSI "Geometric Science of Information" en Aout 2013 à l'Ecole des Mines de Paris, où il a assisté à l'exposé de Hirohiko Shima, donné en son honneur sur le thème « Geometry of Hessian Structures » [26]. Sur la photo ci-dessous, on voit de gauche à droite, Jean-Louis Koszul, Hirohiko Shima et Michel Nguiffo Boyom. Le professeur Michel Boyom a beaucoup étudié et développé, à l'université de Montpellier, les modèles de Koszul [30, 31] relativement aux variétés symplectiques affinement plates et à la cohomologie des algèbres de Koszul-Vinberg (Cohomologie KV) et avec son thésard P.M. Byande les liens avec la Géométrie de l'Information. Voir aussi les travaux d'André Lichnerowicz sur le sujet des variétés Kählériennes homogènes.

Biographie de Jean-Louis Koszul

Jean Louis André Stanislas Koszul né à Strasbourg en 1921, est le fils d'une famille de quatre enfants (avec trois sœurs plus âgées, Marie Andrée, Antoinette et Jeanne). Il est le fils d'André Koszul (né à Roubaix le 19 novembre 1878, professeur d'université à Strasbourg), et Marie Fontaine (née à Lyon le 19 juin 1887), qui était une amie de la mère d'Henri Cartan. Henri Cartan écrit à ce propos « Ma mère dans sa jeunesse, avait été une amie intime de celle qui devait devenir la mère de Jean-Louis Koszul » [2]. Ses parents paternels étaient Julien Stanislas Koszul et Hélène Ludivine Rosalie Marie Salomé. Il a fait ses études secondaires au lycée Fustel-de-Coulanges à Strasbourg puis à la faculté des sciences de Strasbourg et celle de Paris. Il entre à l'ENS Ulm dans la promotion 1940 et fait sa thèse avec Henri Cartan. Henri Cartan note « Cette promotion comprenait d'autres mathématiciens comme Belgodère ou Godement, et aussi des physiciens et quelques chimistes, comme Marc Julia et Raimond Castaing » [2].

Jean-Louis Koszul se marie le 17 juillet 1948 avec Denise Reyss-Brion, élève de l'ENS de Sèvres, entrée en 1941. Ils ont trois enfants Michel (marié à Christine Duchemin), Anne (épouse de Stanislas Crouzier) et Bertrand. Il enseigna ensuite à Strasbourg et fut nommé Maître de Conférences à l'Université de Strasbourg en 1949. Il y a été promu professeur en 1956. Il est devenu membre de Bourbaki avec la génération de J. Dixmier, R. Godement, S. Eilenberg, P. Samuel, J.P. Serre et L. Schwartz. Henri Cartan remarque dans [2] « Dans les discussions véhémentes au sein de Bourbaki, Koszul n'était pas de ceux qui parlaient fort ; mais on apprit à l'écouter car on savait que s'il ouvrait la bouche il avait quelque chose à dire ». Il est promu maître de conférences à l'université de Grenoble en 1963. Il devient professeur honoraire à l'université Joseph Fourier [4]. A Grenoble, il pratiqua l'alpinisme et fut membre du Club Alpin Français. Koszul fut élu correspondant à l'Académie des sciences le 28 janvier 1980. L'année suivante, il fut élu à l'Académie de São Paulo. Jean-Louis Koszul était le cousin du compositeur Henri Dutilleux, dont le grand-père commun était Julien Koszul (1844- 1927), élève de Camille Saint-Saëns, condisciple et ami de Gabriel Fauré, et professeur d'Albert Roussel. Les œuvres les plus célèbres de son grand-père Julien Koszul ont été rejouées récemment à l'IHES par Bertrand Maury, suite à un exposé qui développait les éléments décrits dans le présent article par l'auteur. Les œuvres les plus remarquables de Julien Koszul, le grand-père de Jean-Louis Koszul sont : Quo Vadis pour choeur d'hommes à 5 voix, Pié Jesus en si m, Pièces pour piano à deux mains et 1 pièce pour piano à 4 mains et les Mélodies de 1872 et 1879. Jean-Louis Koszul est mort le 12 janvier 2018, à l'âge de 97 ans.

Dès 1947, Jean-Louis Koszul publia trois articles dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, sur le nombre Betti d'un groupe de Lie compact simple , sur les anneaux de cohomologie, généralisant des idées de Jean-Leray, et enfin sur l'homologie des espaces homogènes. En 1987 est organisé à Grenoble un Colloque International de Géométrie en l'honneur de Jean-Louis Koszul, dont les actes sont publiés dans les Annales de l'Institut Fourier, Tome 37, n^o 4. Cette conférence

commença par un exposé de Henri Cartan, qui nota dans son article en l'honneur de Koszul la mention qu'il porta lors du passage de l'agrégation de Koszul [2] : « Esprit distingué ; réussit bien ses problèmes. Devrait se garder, à l'oral, de tendances trop systématiques : un peu moins de complications subtiles, d'idées baroques, un peu plus de bon sens et d'équilibre seraient souhaitables ». Commentant le fait que Koszul s'adresse à lui pour sa thèse, Henri Cartan écrit « Pour quel raison est-ce à moi qu'il s'adressa pour le guider (soi-disant) ? Est-ce parce qu'il trouvait une inspiration dans les travaux d'Elie Cartan sur la topologie des groupes de Lie ? Peut-être fut-il surpris de constater que le savoir mathématique ne se transmet pas nécessairement par filiation. En tout cas c'est lui qui m'incita à mieux connaître ce que mon père avait apporté à la théorie » [2].

Sur les travaux de Koszul d'algébrisation, Henri Cartan note « c'est Koszul qui, le premier, sut donner une formalisation algébrique précise de la situation étudiée par Leray dans sa publication de 1946, et qui est devenue la théorie de la suite spectrale. Il fallait une bonne dose de perspicacité pour débrouiller ce qui se cachait derrière l'étude de Leray. A cet égard, la Note de Koszul dans les Comptes Rendus de Juillet 1947 a une importance historique. » [2]. Du 26 Juin au 2 Juillet 1947, le CNRS, accueillit une conférence internationale à Paris, sur la « Topologie algébrique ». Ce fut la première diffusion internationale d'après-guerre des idées de Leray. Koszul écrit à propos de cette conférence « Je vois encore Leray posant sa craie à la fin de son exposé en disant (modestement ?) qu'il ne comprenait décidément rien à la Topologie algébrique ». Dans la rédaction de ses cours au Collège de France, Leray a adopté la présentation algébrique de la suite spectrale élaborée par Koszul. Dès 1950, J.P. Serre utilisa le terme de « suite de Leray-Koszul ». Parlant de Leray, Koszul écrivit « vers 1955 je me souviens lui avoir demandé ce qui l'avait mis sur la voie de ce qu'il a appelé l'anneau d'homologie d'une représentation dans ses Notes aux C.R. de 1946. Sa réponse a été le théorème de Künneth ; je n'ai pas pu en savoir plus. ». La théorie des faisceaux, introduite par Jean-Leray, suivie dès 1947, au même moment que les séquences spectrales.

En 1950, Koszul publie un important ouvrage de 62 pages intitulé Homologie et cohomologie des algèbres de Lie dans lequel il étudie les liens entre l'homologie et la cohomologie (avec coefficients réels) d'un groupe de Lie connexe compact et les problèmes purement algébriques de l'algèbre de Lie. Koszul a donné ensuite un cours magistral à São Paulo sur le thème « Faisceaux et cohomologie ». Les superbes notes de cours ont été publiées en 1957 et traitaient de la cohomologie de Čech avec des coefficients dans un faisceau. à l'automne 1958, il a de nouveau organisé une série de séminaires à São Paulo, cette fois sur les espaces symétriques [6]. R. Bott fit les commentaires suivants sur ces séminaires « très agréable. Le rythme est rapide, et le matériel considérable est couvert élégamment. Outre les théorèmes plus ou moins standard sur les espaces symétriques, l'auteur discute la géométrie des géodésiques, la métrique de Bergmann, et étudie finalement les domaines bornés avec beaucoup de détails. ». Au milieu des années 1960, Koszul a enseigné au Tata Institute de Bombay sur les groupes de transformations [10] et

sur les faisceaux de fibres et la géométrie différentielle. Le deuxième cours portait sur la théorie des connexions et les notes de cours ont été publiées en 1965. Il publie en 1986 « Introduction à la géométrie symplectique » [13] en chinois suite à un cours en Chine (en accord avec Jean-Louis Koszul en 2017, ce cours donné à l'Université de Nankin va être traduit en anglais par SPRINGER et sera republié en 2018). Ce livre reprend et développe des travaux de Jean-Marie Souriau [32, 33] sur les variétés symplectiques homogènes et la représentation affine des algèbres et groupes de Lie en mécanique géométrique (autre source fondamentale de structures de la Géométrie de l'Information étendue sur les variétés homogènes). Chuan Yu Ma écrit dans une revue, sur ce dernier livre en chinois, que « Ce travail a coïncidé avec les développements dans le domaine de la mécanique analytique. Beaucoup de nouvelles idées ont également été dérivées à l'aide d'une grande variété de notions de l'algèbre moderne, de la géométrie différentielle, des groupes de Lie, de l'analyse fonctionnelle, des variétés différentiables et de la théorie des représentations. [Le livre de Koszul] met l'accent sur les propriétés différentielles-géométriques et topologiques des variétés symplectiques. Il donne un traitement moderne du sujet qui est utile pour les débutants ainsi que pour les experts. ».
En 1994, dans [1], un commentaire de Koszul explique les problèmes dont il était préoccupé au moment où il a inventé ce qu'on appelle maintenant le "complexe de Koszul". Ceci a été introduit pour définir une théorie de la cohomologie pour les algèbres de Lie et s'est avéré être une construction générale utile en algèbre homologique.

Conclusion

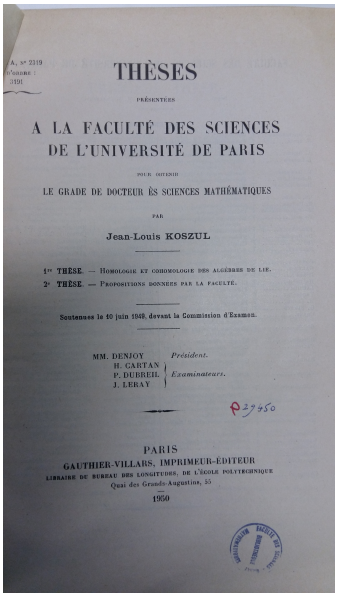
La communauté des Sciences Géométriques de l'Information (GSI) a perdu un mathématicien d'une grande valeur, qui a éclairé ses vues par la profondeur de sa connaissance des structures intimes des géométries hessiennes et des domaines bornés homogènes. Sa modestie était inversement proportionnelle à son talent. Le Professeur Koszul a construit en plus de 60 ans de carrière mathématique, dans le silence de ses passions, une œuvre immense, qui fait de lui un des grands géomètres du XXième siècle, dont l'importance ne fera que s'affirmer avec le temps. Dans l'époque troublée et de transformation rapide de la société et de la Science, l'exemple du Professeur Koszul doit être regardé comme un modèle pour les générations futures pour leur éviter les pièges des gloires éphémères et des reconnaissances trop vite acquises. L'œuvre du Professeur Koszul est aussi une preuve de fidélité à ses maîtres et en premier lieu au professeur Elie Cartan, qui l'inspira tout au long de sa vie. Henri Cartan écrit à ce propos « Je n'oublie pas l'hommage qu'il a rendu à l'œuvre d'Elie Cartan en Géométrie différentielle lors de la célébration, à Bucarest, en 1969, du centenaire de sa naissance. Ce n'est doute pas un hasard si ce centenaire a aussi été célébré à Grenoble la même année. Comme toujours, Koszul s'exprima avec la discrétion et le tact que nous lui connaissons, et que nous aimons tant chez lui ». Je conclurai en citant Jorge Luis Borges « L'oubli et la

Jean-Louis Koszul à Grenoble en Décembre 1993 (à gauche), dernier témoignage de Jean-Louis Koszul en 2016 pour l'anniversaire des 50 ans de l'Institut Joseph Fourier de Grenoble (à droite)

mémoire sont également inventifs » (Le rapport de Brodie). Notre génération et la précédente ont oublié ou mal compris la profondeur des travaux de Jean-Louis Koszul et Elie Cartan sur l'étude des domaines bornés homogènes. Il nous appartient de corriger cet oubli, et d'en faire la nouvelle source d'inspiration pour les sciences géométriques de l'information. Je terminerai en vous invitant à écouter la dernière interview de Jean-Louis Koszul pour les 50 ans de L'Institut Joseph Fourier [4], en vous arrêtant sur le moment où Koszul s'intéresse aux « massifs de conifères et de cèdres » plantés par Claude Chabauty, ou au « joli arbre catalpa » qui a été abattu à l'Institut Fourier, « l'arbre à parenthèses » dit-il, auquel il semblait être sentimentalement attaché. Il regrette également que l'Institut n'ait pas employé le 1% artistique pour le projet de mosaïque d'art dans la bibliothèque. Dans cette famille Koszul de mathématiciens, de musiciens et de lettrés, il y avait une constante recherche du « beau » et du « vrai ». Notre société ne se soucie plus de ce « beau » intemporel, et ne semble valoriser que l'immédiateté « efficace ». Oublions un instant ces mondes superficiels et émerveillons-nous avec Jean-Louis Koszul devant les jolis catalpas à champignons-parenthèses, avant qu'il n'y ait plus personne pour les contempler. « J'étudie ! Je ne suis que le sujet du verbe étudier. Penser je n'ose. Avant de penser, il faut étudier » - Gaston Bachelard, la flamme d'une chandelle

Bibliographie

[1] Selected Papers of J L Koszul, Series in Pure Mathematics, Volume 17, World Scientific Publishing, 1994



THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES MATHÉMATIQUES

PAR

Jean-Louis KOSZUL

1re THÈSE. — Homologie et cohomologie des algèbres de Lie.
2e THÈSE. — Propositions données par la faculté.

Soutenues le 60 juin 1949, devant la Commission d'Examen.

MM. DENJOY *Président.*
H. CARTAN
P. DUBREIL *Examinateurs.*
J. LERAY

PARIS
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR
LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55
1950

Page de garde de la thèse de Koszul, avec Henri Cartan et Jean Leray dans le jury

[2] Cartan H., Allocution de Monsieur Henri Cartan, colloque Jean-Louis Koszul, Annales de l'Institut Fourier, tome 37, 4, pp.1-4, 1987

[3] Koszul J.L., L'oeuvre d'élie Cartan en géométrie différentielle, in élie Cartan, 1869-1951. Hommage de l'Académie de la République Socialiste de Roumanie à l'occasion du centenaire de sa naissance. Comprenant les communications faites aux séances du 4e Congrès du Groupement des Mathématiciens d'Expression Latine, tenu à Bucarest en 1969 (Editura Academiei Republicii Socialiste Romania, Bucharest, 1975), pp. 39-45.

[4] dernière interview de J.L. Koszul pour le laboratoire mathématique de l'Institut Fourier en 2016 : vidéo : https ://www.youtube.com/watch ?v=AzK5K7Q05sw

[5] Koszul J.L. , Sur la forme hermitienne canonique des espaces homogènes complexes. Can. J. Math., 7, 562–576, 1955

[6] Koszul J.L. , Exposés sur les Espaces Homogènes Symétriques ; Publicação da Sociedade de Matematica de São Paulo : São Paulo, Brazil, 1959

[7] Koszul J.L., Domaines bornées homogènes et orbites de groupes de transformations affines, Bull. Soc. Math. France 89, pp. 515-533., 1961

[8] Koszul J.L. , Ouverts convexes homogènes des espaces affines. Math. Z., 79, 254–259, 1962

[9] Koszul J.L. , Variétés localement plates et convexité. Osaka. J. Math., 2, 285–290, 1965

[10] Koszul J.L, Lectures on Groups of Transformations, Tata Institute of Fundamental Research, Bombay, 1965

[11] Koszul J.L., Déformations des variétés localement plates, .Ann Inst Fourier, 18 , 103-114, 1968

[12] Koszul J.L. , Trajectoires Convexes de Groupes Affines Unimodulaires. In Essays on Topology and Related Topics ; Springer : Berlin, Germany, pp. 105–110, 1970

[13] Koszul J.L., Introduction to Symplectic Geometry, Science Press, Beijing, 1986 (en chinois) ; traduction en anglais prevue par SPRINGER en 2018

[14] Vey J., Sur une notion d'hyperbolicité des variétés localement plates, Thèse de troisième cycle de mathématiques pures, Faculté des sciences de l'université de Grenoble, 1969

[15] Vey J., Sur les automorphismes affines des ouverts convexes saillants, Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa, Classe di Science, 3e série, tome 24, 4, p.641-665, 1970

[16] Alekseevsky D., Vinberg's theory of homogeneous convex cones : developments and applications, Transformation groups 2017. Conference dedicated to Prof. Ernest B. Vinberg on the occasion of his 80th birthday, Moscou, December 2017, https ://www.mccme.ru/tg2017/slides/alexeevsky.pdf ,vidéo : http ://www.mathnet.ru/present19121

[17] Vinberg E.B., Homogeneous cones, Dokl. Akad. Nauk SSSR., 133, pp. 9–12, 1960 ; Soviet Math. Dokl., 1, pp. 787–790, 1961

[18] Vinberg E.B., The structure of the group of automorphisms of a convex cone, Trudy Moscov. Mat. Obshch., 13, pp.56–83, 1964 ; Trans. Moscow Math. Soc., 13, 1964

[19] Shima H., Symmetric spaces with invariant locally Hessian structures. J. Math.Soc. Japan, pp. 581–589, 1977

[20] Shima H., Homogeneous Hessian manifolds. Ann. Inst. Fourier, pp. 91–128, 1980

[21] Shima H., Vanishing theorems for compact Hessian manifolds. Ann. Inst. Fourier, pp. 183–205, 1986

[22] Shima H., Harmonicity of gradient mappings of level surfaces in a real affine space. Geometriae Dedicata, pp. 177–184, 1995

[23] Shima H., Hessian manifolds of constant Hessian sectional curvature. J. Math. Soc. Japan, pp. 735–753, 1995

[24] Shima H., Homogeneous spaces with invariant projectively flat affine connections. Trans. Amer. Math. Soc., pp. 4713–4726, 1999

[25] Shima H., The Geometry of Hessian Structures, World Scientific, 2007

[26] Shima H., Geometry of Hessian Structures, Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8085, F. Nielsen, & Barbaresco, Frederic (Eds.), pp.37-55, 2013 (planches : https ://www.see.asso.fr/file/5104/download/25050) (vidéos GSI'13 : https ://www.youtube.com/watch ?time_continue=139&v=6pyXxdIzDNQ ; https ://www.youtube.com/watch ?time_continue=182&v=jG2tUjniOUs ; https ://www.youtube.com/watch ?time_continue=6&v=I5kdMJvuNHA)

[27] Fréchet M., Sur l'extension de certaines évaluations statistiques au cas de petits échantillons, Revue de l'Institut International de Statistique, vol. 11, 3/4, pp. 182–205, 1943

[28] Burbea J., Rao C.R., Entropy differential metric, distance and divergence measures in probability spaces : A unified approach, J. Multivar. Anal., 12, pp. 575–596, 1982

[29] Chentsov N.N., Statistical Decision Rules and Optimal Inferences, Transactions of Mathematics Monograph, American Mathematical Society : Providence, RI, USA, Volume 53, 1982

[30] Nguiffo Boyom M., Transversally Hessian foliations and information geometry I. Am. Inst. Phys. Proc. , 1641, pp. 82–89, 2014

[31] Nguiffo Boyom M, Wolak, R., Transverse Hessian metrics information geometry MaxEnt 2014. AIP. Conf. Proc. Am. Inst. Phys. 2015

[32] Barbaresco F., Koszul information geometry and Souriau Lie group thermodynamics, AIP Conf. Proc. 1641, 74, 2015, Proceedings of MaxEnt'14 conference, Amboise, Septembre 2014

[33] Barbaresco F., Koszul Information Geometry and Souriau Geometric Temperature/Capacity of Lie Group Thermodynamics, Entropy, vol. 16, 2014, pp. 4521-4565. Published in the book Information, Entropy and Their Geometric Structures, MDPI Publisher, September 2015

[34] Ollivier Y., Marceau-Caron G., Natural Langevin dynamics for neural networks, Proc. of the conference on Geometric Science of Information (GSI 2017), F. Nielsen and F. Barbaresco (eds), Lecture Notes in Computer Science 10589, Springer (2017), 451–459. (Best paper award.)

[35] Ollivier Y., True Asymptotic Natural Gradient Optimization, manuscript disponible sur arxiv http ://arxiv.org/abs/1712.08449

[36] Malgrange B., Quelques souvenirs de Jean-Louis KOSZUL, Gazette des Mathématiciens - 156, pp. 63-64, Avril 2018

[37] Cartier P., In memoriam Jean-Louis KOSZUL, Gazette des Mathématiciens - 156, pp. 64-66, Avril 2018

[38] Kosmanek E.-E., Hommage à mon directeur de thèse, Gazette des Mathématiciens - 156, pp. 67-67, Avril 2018

Histoire des idées et culture mathématique

Une brève histoire de la théorie des jeux

Communiqué par Victorita Dolean, Université Côte d'Azur

Si l'on devait donner une définition ad-hoc, la théorie des jeux concerne l'étude de modèles mathématiques de conflit et de coopération entre les décideurs rationnels et intelligents. Pour mieux situer ce domaine parmi d'autres disciplines mathématiques, il faut penser à l'idée de stratégie (au sens d'un algorithme mathématique ou d'une suite d'actions aux résultats mesurables en terme de gain), en tenant compte des facteurs externes, comme le fait que les autres acteurs du jeu ont à leur tour une stratégie.

Historiquement, le premier problème de la théorie des jeux, datant de 1713, est également connu sous le nom de *problème de Waldegrave* et a été motivé, comme plusieurs problèmes dans la théorie des probabilités, par les jeux de hasard. **Waldegrave** a trouvé pour la première fois une stratégie gagnante pour un jeu de cartes dans lequel deux joueurs sont impliqués en la généralisant ensuite au cas de plusieurs joueurs. Plus tard, en 1787, **James Madison**, ancien président des États-Unis, a involontairement effectué une analyse qui semblait inspirée de ce qu'on appelle de nos jours la théorie des jeux sur la façon dont les états devraient agir sous différents régimes fiscaux. Diplômé de Princeton, il était connu pour avoir introduit des projets importants de loi et était un ardent défenseur du renforcement d'un système financier et bancaire à la suite de l'indépendance de l'Empire britannique. La thèse qu'il défend est que *toutes les sociétés civilisées sont divisées en différents intérêts et factions, par exemple entre créanciers et débiteurs - riches ou pauvres - commerçants ou producteurs et donc la vocation principale d'un gouvernement est de moduler son autorité pour être suffisamment neutre entre différents intérêts et factions, afin d'empêcher une partie de la société d'envahir les droits d'autrui.*("Vices du système politique américain")

Le prochain acteur de l'histoire de cette discipline fut **Antoine Augustin Cournot**, intellectuel complet, mathématicien et philosophe, diplômé de la prestigieuse Ecole Normale Supérieure, considéré comme le pionnier des outils mathématiques d'analyse et de probabilité en économie, étant une référence dans le domaine de l'analyse économique que nous appelons économétrie. Il a inventé la notion qui porte désormais son nom, *compétition de Cournot* définissant un modèle consistant en une structure dans laquelle les entreprises se font concurrence sur la quantité de biens qui seront produits et qu'elles décideront de manière indépendante et simultanée. La notion d'équilibre qu'il a établie est très proche de celle *redécouverte*

au XXe siècle, c'est-à-dire l'idée de l'équilibre de Nash (voir plus bas).

Plus tard en 1813, une contribution inattendue est venue d'un mathématicien *pur*, l'allemand **Ernst Zermelo**, qui a longtemps travaillé sur la définition d'un système axiomatique de la théorie des ensembles. Probablement seulement de manière récréative et pour sa propre gymnastique mentale, il a montré que dans n'importe quel jeu entre deux personnes possédant une information parfaite, où les joueurs agissent alternativement et où le hasard n'affecte pas le processus de décision, l'un des deux joueurs doit avoir une stratégie gagnante. Lorsqu'il est appliqué aux échecs, la théorie de Zermelo dit que le blanc peut forcer une victoire, ou le noir peut forcer une victoire, ou les deux côtés peuvent forcer au moins une remise.

Malgré les explorations des deux derniers siècles de nombreux chercheurs et scientifiques, la théorie des jeux est apparue comme un domaine autonome avec les travaux de **John von Neumann**, l'un des derniers esprits encyclopédiques du début du XXe siècle, pionnier dans divers domaines, avec des contributions fondamentales en mathématiques, économie, informatique et physique. La personnalité de Neumann, mathématicien hongrois né à Budapest, qui devint plus tard le plus jeune professeur de mathématiques à Berlin avant la Seconde Guerre mondiale, en exil aux Etats-Unis depuis 1929, mériterait un article entier. Ses contributions absolument remarquables en mathématiques pures mais aussi en mécanique quantique, en logique et en mathématiques appliquées (mécanique des fluides, statistique, programmation linéaire) ont été complétées par un saut qualitatif qu'il a donné aux mathématiques pour l'économie. En d'autres termes, il n'y a pas de domaine des mathématiques modernes (et des domaines scientifiques *durs* connexes) où il n'a pas laissé sa marque. Il était une personnalité éclectique, un nom incontournable dans la science du siècle dernier qui n'existe plus dans l'ère actuelle de la fragmentation extrême de la connaissance, mais qui n'est malheureusement pas suffisamment connue du grand public. Une explication serait qu'il ne s'est jamais confortablement installé dans un domaine et qu'il est donc compliqué de lui attribuer l'attribut absolu d'expert ou de le classer dans le sens traditionnel. On peut dire qu'il a donné à la théorie des jeux son statut de discipline mathématique avec un cadre rigoureux et bien défini, montrant les premiers théorèmes liés aux *jeux parfaits à somme nulle de deux joueurs* (dans lesquels chacun connaît l'historique des mouvements antérieurs de l'adversaire et son gain est équilibré par la perte de l'autre et vice versa). Le poker et les jeux de hasard sont des exemples populaires de jeux à somme nulle, parce que les montants totaux gagnés par certains joueurs sont les pertes combinées des autres.

Cependant, la théorie des jeux est restée éternellement liée au nom de **John Nash**, qui a également reçu le prix Nobel d'économie pour ce qu'on appelle *l'équilibre de Nash* (quatre Oscars en 2000 pour le film *A beautiful mind*, y compris pour Russell Crowe, qui a joué le mathématicien), un résultat publié sur une page, démontrant

une idée relativement simple à expliquer en langage naturel : étant donné un groupe avec un nombre fini de "joueurs" (qui peuvent être des individus, institutions ou pays) capables de faire des choix rationnels basés uniquement sur l'information sur ce que les autres peuvent faire et gagner, ayant des options limitées à portée de main, ce groupe peut atteindre un état d'équilibre. L'équilibre de Nash exprime une stratégie qui ne peut changer le résultat final que lorsqu'elle est unilatéralement modifiée, même si ce résultat n'est pas optimal pour chaque joueur. La première réaction de Neumann à la publication de Nash était *J'ai déjà montré cela.* Déclaration à prendre avec prudence car Nash a fait quelque chose de plus : il a généralisé un problème non trivial mais a aussi eu la chance de développer la théorie et d'évoluer dans une époque pleine d'optimisme et d'enthousiasme dans tous les domaines, qui était celle d'après la seconde guerre mondiale. Le génie de Nash est indéniable, mais comme d'habitude, il est difficile de prédire ce qui se serait passé sans l'héritage de Von Neumann et d'autres illustres prédécesseurs.

L'exemple emblématique de l'équilibre de Nash, facile à expliquer aux novices, est le **dilemme du prisonnier**. Deux gangsters ont commis un crime et sont actuellement en prison dans des cellules séparées sans pouvoir communiquer entre eux. Ils se voient offrir le même accord par l'avocat : si les deux avouent, ils risquent dix ans de prison. Si un seul confesse et que l'autre reste silencieux, le premier obtiendra une récompense tandis que le second passera sa vie entière en prison. Et enfin, si les deux restent silencieux, ils ne recevront qu'une amende mineure. La seule solution au dilemme du prisonnier ou le seul point d'équilibre Nash est que les deux confessent. C'est la meilleure réponse à la stratégie d'autrui car personne ne risque de rester silencieux sans savoir ce que l'autre fera. Le manque de coordination conduit à un état d'équilibre mais pas nécessairement à la meilleure solution pour les deux. L'équilibre de Nash a été utilisé pour analyser différents types de situations hostiles ou pour étudier dans quelle mesure des personnes ayant des préférences différentes peuvent coopérer, organiser des ventes aux enchères, analyser des stratégies de marketing, pour n'en citer que quelques-unes.

On peut se demander comment la théorie des jeux fonctionne dans la pratique, et quelles seraient ses applications potentielles à travers quelques exemples simples.

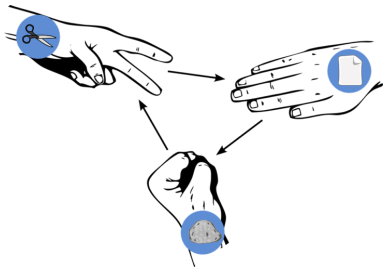
Une stratégie de guerre Au cours de la Seconde Guerre mondiale, le général américain George Kenney (commandant des forces alliées dans le Pacifique Sud-Ouest) savait que les Japonais enverraient un convoi de ravitailleurs en Nouvelle-Guinée. Les Alliés voulaient naturellement le bombarder. Mais le convoi pourrait emprunter l'une des deux voies possibles : l'une vers le nord et l'autre vers le sud. Tout itinéraire prendrait trois jours, donc en principe, les alliés pouvaient bombarder le convoi pendant trois jours. Mais les prévisions météorologiques ont indiqué que la route du nord serait pluvieuse un jour, limitant le temps de bombardement à maximum de deux jours. La route du sud fournirait plutôt une visibilité pour

trois jours de bombardement. Le général Kenney devait décider s'il fallait envoyer des avions de reconnaissance au nord ou au sud. S'il les envoyait vers le sud et que le convoi irait vers le Nord, il perdrait un autre jour de bombardement (sur les deux disponibles). Si les avions de reconnaissance partaient vers le nord, les bombardiers auraient deux jours de plus pour changer de direction que si le convoi se dirigeait vers le sud. Ainsi, la matrice "payoff" ressemble à ceci, ses entrées étant les "gains" (utilités) en jours de bombardement pour chaque stratégie possible :

		Japanese	
		North	South
Allies	North	2	2
	South	1	3

Si nous regardons cette matrice du point de vue des alliés, nous ne pouvons pas voir immédiatement la stratégie évidente, mais du côté japonais, il est facile de voir que le nord est le seul mouvement qui a un sens. Si le convoi prenait la route du sud, il aurait sûrement été bombardé pendant deux jours, peut-être trois. S'il se dirigeait vers le nord, il aurait un maximum de deux jours (peut-être un seul), donc un gain aussi bon ou meilleur que n'importe laquelle des possibilités allant vers le sud. Le général Kenney était convaincu que les Japonais iraient vers le nord, de sorte que la seule stratégie logique des alliés serait d'envoyer les avions de reconnaissance vers le nord. (En effet, les Japonais ont pris le chemin du nord et ont subi de lourdes pertes de la part des bombardiers alliés.)

Rock-Paper-Scissors Un jeu familier aux enfants - qui va au-delà de l'âge de l'innocence, Rock-Paper-Scissors (RPS) est basé précisément sur la théorie des jeux, et ceux qui y excellent sont ceux qui ont compris la théorie dans sa subtilité. Ainsi, il y a deux joueurs et chacun d'eux affiche l'un des trois symboles : une pierre, un papier ou des ciseaux. La pierre bat les ciseaux, les ciseaux battent le papier en le coupant, et le papier bat la pierre en la couvrant. RPS est un exemple de jeu à somme nulle sans information parfaite. Chaque fois qu'un joueur gagne, l'autre perd. Nous pouvons exprimer ce jeu en utilisant une matrice de gains qui explique ce qu'un joueur gagne avec chaque stratégie qu'il utilise. Les lignes représentent les stratégies possibles du joueur 1, tandis que les colonnes représentent les stratégies possibles du joueur 2. 1 représente une victoire pour le joueur 1, 0 une remise et -1 une perte pour le joueur 1. Par exemple, l'entrée en haut à gauche est 0 car si les deux joueurs affichent des pierres, c'est un match nul. L'entrée du milieu supérieur est -1, car si le joueur 1 affiche une pierre et que le joueur 2 affiche du papier, le joueur 2 gagne et donc le joueur 1 perd.



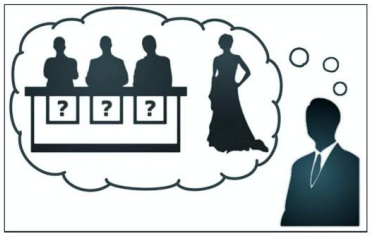
		Player 2		
		Rock	Paper	Scissors
Player 1	Rock	0	-1	1
	Paper	1	0	-1
	Scissors	-1	1	0

Contrairement à certains jeux de hasard (par ex. jeter des dés), RPS peut être joué avec un certain niveau de compétence en reconnaissant et en exploitant le comportement non-aléatoire des adversaires. En ce sens, il existe une société modiale du RPS qui fait la promotion du jeu et contribue à l'organisation des championnats !

Il y a beaucoup d'autres aspects de la théorie des jeux et des déclinaisons des idées simples présentées ci-dessus. Sans entrer dans les détails (certains noms sont déjà très suggestifs) on peut parler de jeux coopératifs ou non, symétriques / non symétriques, à somme nulle (ex. Poker) ou non, allant jusqu'à des variantes plus sophistiquées comme les jeux combinatoires (ex. backgammon - proche du développement de la recherche en intelligence artificielle), avec de nombreux acteurs ou évolutifs (souvent rencontrés en biologie). Nash a offert la première vraie généralisation, c'est-à-dire des *jeux à somme non nulle*, en supposant qu'il n'y a pas de coalitions ou de coopération entre les joueurs. La notion d'équilibre de Nash capture une caractéristique critique du monde social. Ainsi, en utilisant les outils mathématiques appropriés, nous pouvons comprendre comment les gens peuvent parvenir à la stabilité dans une situation sociale en comparant la situation avec un jeu. Il convient de mentionner quelques autres variantes *exotiques* et plus récentes, ces dernières étant en quelque sorte l'expression de la synergie des idées dans la science moderne. Alors que la théorie des jeux traditionnels se concentre sur les équilibres mathématiques, en maximisant les utilités et les choix rationnels, dans la *théorie des jeux comportementale*, les choses sont différentes.

Le concours de beauté de Keynes. Un jeu souvent utilisé pour illustrer cette théorie est le concours de beauté de Keynes, un concept développé par John Maynard Keynes (le célèbre économiste britannique, considéré comme le père de la macroéconomie) pour expliquer les fluctuations des prix sur les marchés de capitaux. Keynes a décrit l'action des agents dans un marché en utilisant une analogie basée sur un concours de beauté fictif dans lequel les participants sont invités à choisir six de ceux qui pensent qu'ils seront les figures les plus attrayantes dans une centaine de photos. Une stratégie naïve serait de choisir les photos qui, de l'avis du participant, sont les plus belles. Un concurrent plus sophistiqué, souhaitant maximiser ses chances de gagner un prix, penserait à la perception de la beauté de la majorité et ferait ensuite une sélection basée sur cela. Cette méthode peut être poussée un peu plus loin pour prendre en compte le fait que les autres participants

auraient chacun leur propre opinion sur la perception du public. Ainsi, la stratégie peut être étendue au niveau suivant et ainsi de suite, à chaque niveau, en essayant de prédire le résultat du processus en fonction du raisonnement des autres agents.



Keynes a estimé qu'un comportement similaire fonctionne dans le marché boursier. Le niveau des prix n'est pas basé sur ce que les agents croient être leur valeur intrinsèque mais plutôt sur ce qu'ils pensent que tout le monde pense de leur valeur ou ce que les autres attendent de la valeur moyenne. Dans un sens plus large, généralisant les idées ci-dessus, la théorie des jeux comportementale est une science hybride utilisant des méthodes mathématiques mais aussi l'économie ou la psychologie expérimentale, et est le produit récent des trois dernières décennies de recherche. Un autre exemple édifiant serait **la théorie des jeux quantiques**.

Le mariage de la physique quantique avec la théorie du jeu est assez naturel, et il est surprenant que personne n'ait jamais découvert de lien auparavant puisque John von Neumann, l'initiateur de la théorie moderne des jeux, était aussi un pionnier de la mécanique quantique. En quelques lignes : il y a une forte analogie entre le fait que la meilleure stratégie dans un jeu n'est pas fixe mais c'est un mélange de différentes stratégies (disons A le 70% du temps et B 30% du temps) de la même manière que la position d'une particule en physique quantique ne peut être déterminée définitivement mais seulement décrite avec une certaine probabilité (par exemple dans la région A le 70% du temps et B 30% du temps). Cela a donné une perspective différente à la fois aux jeux et à la physique, avec des implications qui attendent une exploration plus approfondie. L'aventure de la théorie

des jeux, très ambitieuse, a tenté de retranscrire dans un langage mathématique et algorithmique rigoureux (jeux avec de nombreux acteurs où la complexité des modèles nécessite un cadre interdisciplinaire spécifique) des phénomènes exotiques et apparemment sans rapport, comme la dynamique des conflits, les négociations, l'évolution des marchés de capitaux ou l'évolution des populations en biologie. La physique quantique, les mathématiques, l'informatique, l'économie, la psychologie et la biologie ont toutes contribué au développement d'un domaine à la fois fascinant et vivant, complexe mais accessible, nécessaire à travers la diversité des applications, enraciné dans la réalité palpable de la société et la vie.

Bibliographie :
John Siegfried, "A beautiful math : John Nash, game theory and the modern quest for a code of nature".

Le plan de conservation partagée en mathématiques

Communiqué par Claude Sabbah, CMLS, École Polytechnique

Outil de politique scientifique et documentaire, le plan de conservation partagée en mathématiques (PCMath) coordonne, au niveau national, la conservation d'un corpus de périodiques défini par la communauté des mathématiciens, pour qui, plus encore que pour d'autres scientifiques, la préservation des résultats précédemment obtenus est primordiale.[1]

Dans le contexte d'une accélération des désabonnements dans des bibliothèques aux budgets contraints, et celui du passage au tout-électronique, l'exigence d'organiser la préservation de ce corpus scientifique s'est imposée rapidement. L'objectif premier est de garantir la conservation et l'accessibilité, sur le long terme et pour toute la communauté, de l'ensemble des revues imprimées considéré comme le corpus indispensable à la recherche. Il s'agit aussi de permettre aux bibliothèques de se défaire de certains titres de manière concertée, et ainsi gagner de la place. La mutualisation de la conservation de ce corpus, au niveau national, devrait permettre à l'avenir une gestion plus détendue des abonnements/désabonnements dans chaque bibliothèque tout en garantissant aux chercheurs un accès rapide aux ressources imprimées.

Le principe est simple : pour chaque titre du corpus sélectionné, la préservation (en France) de deux collections complètes en bon état est confiée à un ou plusieurs *pôles de conservation*, qui s'engagent à les conserver dans les meilleures conditions et à ne pas les supprimer de leur catalogue sans concertation préalable, mais aussi à en assurer la diffusion auprès des chercheurs. Pour compléter, le cas échéant, ces collections *labellisées*, les pôles de conservation font appel aux *pôles associés*. Toute bibliothèque qui possède une collection sur l'un des titres du corpus peut donc participer au PCMath, au niveau qui convient à sa politique documentaire. Elle signe alors une charte d'adhésion. Pour chaque titre, elle peut choisir de s'engager selon deux modalités : pôle de conservation ou pôle associé... ou ne pas s'engager du tout.

Le PCMath est animé, depuis 2012, par le Réseau national des bibliothèques de mathématiques (RNBM). C'est un des premiers plans de conservation partagée thématique national dans le domaine des sciences fondamentales. Il en existe maintenant d'autres (physique, etc.). Ils entrent dans le cadre d'une politique nationale de conservation. Il existe aussi des plans de conservation partagés régionaux, en

1. Cet article est une adaptation d'un article paru dans la revue *Arabesques*, revue trimestrielle de l'Abes, signé par Julie Janody (RNBM) et le comité de pilotage PCMath.

général non thématiques. Les partenaires des plans nationaux sont l'Abes (agence bibliographique de l'enseignement supérieur) qui gère le catalogue Sudoc (Système Universitaire de Documentation) et le CTLes (Centre technique du livre de l'enseignement supérieur) qui assure la conservation de documents (sur quelques centaines de kilomètres linéaires), et gère plusieurs plans de conservation partagée. Le RNBM utilise son système propre de catalogage (catalogue fusionné des périodiques de mathématiques), et l'un des enjeux du PCMath est aussi l'interopérabilité de celui-ci avec les outils nationaux de l'Abes.

La sélection du corpus du PCMath s'est effectuée en plusieurs temps. En premier lieu, l'ensemble des titres reliés aux mathématiques, disponibles dans les bibliothèques universitaires, a été extrait du catalogue fusionné, avec notamment les diverses localisations. Ceci représente près d'un millier de titres.

Un comité de six mathématiciens (D. Cerveau, L. Clozel, F. Hélein, C. Sabbah, N. Schappacher, Ph. Thieullen) a établi une première sélection sur cette liste, en extrayant les titres importants à conserver, ainsi que des titres aux frontières des mathématiques, selon plusieurs critères (contenu, comités éditoriaux, renommée, bon référencement dans les bases de données). Bien entendu, des avis extérieurs ont été demandés pour couvrir autant que possible toutes les thématiques. Il a été décidé de limiter le corpus, dans un premier temps, aux titres vivants et strictement mathématiques. Il en est ressorti une liste de près de 450 titres.

Une première phase de test sur une petite sélection de ces titres (80) a permis de mettre en place le fonctionnement du PCMath : positionnement des bibliothèques sur les titres, localisation des collections labellisées, et mise en place des procédures de complétion des collections (transferts d'une bibliothèque à une autre). À la suite de cette phase, le RNBM a déposé une demande de financement sur un projet Collex (Collections d'excellence[2]) 2016-2018, dont l'obtention a permis le démarrage de la deuxième phase, à savoir le traitement complémentaire des 316 titres restants.

Pour la troisième phase, qui va bientôt débuter, une sélection dans la liste restante, enrichie d'environ une centaine de titres nouveaux depuis 2010, a été effectuée par un comité modifié (B. Bidégaray-Fesquet, Th. Bouche, F. Hélein, J. Merker, Ch. Mourougane, C. Sabbah, N. Schappacher, Ph. Thieullen), et une liste de 380 titres a été sélectionnée. Certaines revues aux interfaces, parfois très importantes, seront analysées ultérieurement au regard d'autres plans (en physique, en informatique). Par exemple, une vingtaine de titres sont déjà communs indépendamment au PCMath et au plan de Physique.

Les comités scientifiques des bibliothèques mathématiques peuvent aider les bibliothécaires à se positionner sur certains titres comme pôle de conservation ou

2. L'excellence est partout !

pôle associé, en ayant conscience que le *désherbage* que ce positionnement peut impliquer ne signifie pas la perte d'accès pérenne aux ressources imprimés auparavant fourni par leur bibliothèque.

Nous avons la chance de bénéficier, en mathématiques, d'un réseau documentaire (RNBM) très dynamique et il faut remercier le comité technique du PCMath, dirigé par Nathalie Granottier (CIRM, Marseille), de l'investissement personnel important que chacun de ses membres fournit pour organiser la conservation partagée et l'accessibilité future des collections de périodiques imprimés de nos bibliothèques.

Quelques liens :

— http://www.rnbm.org/le-pcmath/

— http://www.abes.fr/Sudoc/Le-reseau-Sudoc-PS-Publications-en-Serie/Plans-de-Conservation-Partagee-des-Periodiques

— https://www.ctles.fr/fr

Le premier corpus en chiffres :
Il y a actuellement 23 bibliothèques participantes. Sur les 433 titres traités,

— un peu moins de 250 ont une ou deux collections complètes labellisées

— 13 titres restent orphelins (non pris en charge par au moins une bibliothèque)

— un peu moins de 180 titres sont encore lacunaires malgré les nombreux transferts effectués

PCMath

Plan de Conservation Partagée
des périodiques imprimés
en Mathématiques

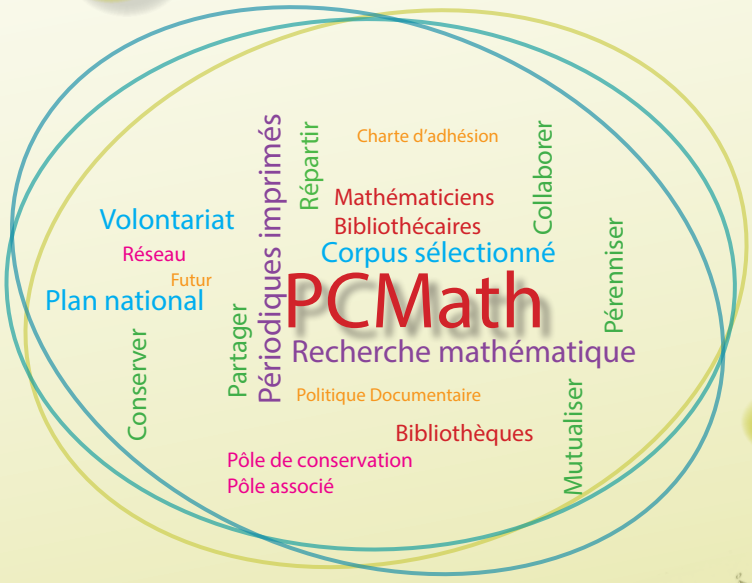
« Conserver moins chacun
pour conserver mieux ensemble »

433 revues de mathématiques sélectionnées

26 bibliothèques ou établissements

Un comité de pilotage

Un comité technique



Conserver le corpus de revues publiées en mathématiques, pour et au plus près de la recherche scientifique

Pour chaque titre du corpus, parvenir à la conservation de deux collections imprimées au plan national, dans les meilleures conditions possibles

Apporter une attention particulière aux collections rares et fragiles

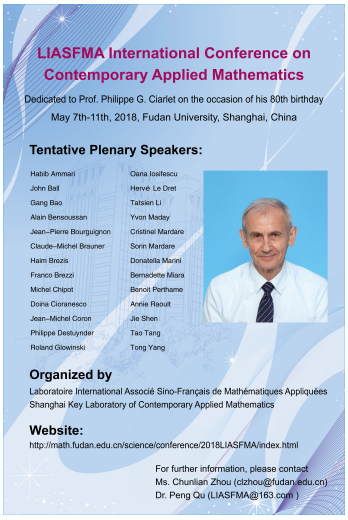
Contact : pcmath@listes.rnbm.org

MAJ : 24/11/2017

Comptes rendus de manifestations

Le 80ème anniversaire de Philippe G. Ciarlet célébré à l'université Fudan de Shanghai

Communiqué par Claude-Michel Brauner, correspondant SMAI en Chine, Jean-Michel Coron, codirecteur du LIASFMA.



L'université Fudan de Shanghai, fondée en 1905, est l'une des universités chinoises les plus anciennes et les plus sélectives, et fait partie de la *C9 League* qui regroupe les neuf meilleures universités de Chine continentale. C'est sur le très beau site du campus Handan, marqué par la présence des tours jumelles Guanghua hautes de plus de 140 mètres, que nous avons célébré le 80ème anniversaire de Philippe Ciarlet, à l'invitation du professeur Tatsien Li, membre de l'Académie chinoise des sciences et membre associé étranger de l'Académie des sciences de Paris.
La conférence en l'honneur de Philippe Ciarlet, intitulée *LIASFMA International Conference on Contemporary Applied Mathematics*, était organisée dans le cadre du LIASFMA, le Laboratoire international associé sino-français de mathématiques appliquées, codirigé par Jean-Michel Coron et Tatsien Li[1].

1. Le LIASFMA regroupe du côté français le CNRS, le Centre de Mathématiques Appliquées et le Centre de Mathématiques Laurent Schwartz (École Polytechnique), le Laboratoire Jacques-Louis Lions (Sorbonne Université), l'Institut de Mathématiques de Bordeaux (université de Bordeaux et Bordeaux INP) et l'Institut Élie Cartan (Université de Lorraine) ; du côté chinois, l'ISFMA (Fudan University), le Mathematical Center of the Ministry of Education (Peking University), le National Center for Mathematics and Interdisciplinary Sciences (AMSS, Chinese Academy of Sciences). Le LIASFMA vient d'être renouvelé pour une durée de quatre ans.

La conférence s'est déroulée du 7 au 11 mai 2018. L'attaché pour la science et la technologie du Consulat général de France à Shanghai, M. Gaétan Messin, et le directeur du bureau du CNRS à Pékin, M. Antoine Mynard, ont chacun pris la parole lors de l'ouverture le lundi matin, à la suite de notre hôte le professeur Tatsien Li. La conférence avait été précédée le samedi par une réception donnée par le Consul général de France à Shanghai, M. Axel Cruau, en présence du Conseiller pour la science et la technologie de l'Ambassade de France en Chine, M. Pierre Lemonde, pour le 40ème anniversaire de l'accord scientifique entre la France et la Chine, et à l'occasion de la présence à Shanghai de plusieurs membres de l'Académie des sciences de Paris. Cela a aussi permis de découvrir la résidence consulaire, classée monument historique par la municipalité de Shanghai.

La carrière de Philippe Ciarlet à l'université Pierre et Marie Curie, ses ouvrages sur la méthode des éléments finis, l'élasticité, la théorie des plaques et des coques, la géométrie différentielle appliquée, et l'analyse fonctionnelle, sont bien connus des lecteurs de MATAPLI. Rappelons seulement que Philippe Ciarlet a été le directeur du laboratoire d'analyse numérique (maintenant le laboratoire Jacques-Louis Lions) de 1981 à 1991. Il est membre de l'Académie des sciences depuis 1991 et professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie depuis 2002.

Nous allons évoquer ici les relations de Philippe Ciarlet avec la Chine[2]. Il est d'ailleurs significatif qu'une telle personnalité scientifique ait choisi la Chine à travers Hong Kong plutôt que les États-Unis pour la suite de sa carrière. La première visite de Philippe Ciarlet en Chine (en compagnie de Roger Temam) date de 1982 et a été suivie par de nombreuses autres et de son installation à *City University of Hong Kong* en 2002. En 1994, il est nommé Professeur honoraire de l'université Fudan et en 2006 de l'université Jiaotong de Xi'an. Ses livres *Numerical Analysis of the Finite Element Method* et *Mathematical Elasticity*, Vol. I, ont été traduits en chinois respectivement en 1977 et 1992. Son dernier ouvrage monumental, *Linear and Nonlinear Functional Analysis with Applications* vient à son tour d'être

2. Nous remercions le professeur Tatsien Li de nous avoir communiqué le texte de son allocution lors du banquet du 9 mai au *Sea Palace Floating Restaurant* en l'honneur de Philippe Ciarlet.

traduit en chinois. Comme l'a souligné Tatsien Li, les livres de Philippe Ciarlet, notamment ceux traduits en chinois, ont exercé une profonde influence sur les professeurs et étudiants chinois, tout particulièrement à l'université Fudan.

Il faut maintenant rappeler la création à Shanghai, en 1998, de l'ISFMA (Institut sino-français de mathématiques appliquées) en partenariat entre l'université Fudan et l'École polytechnique, avec le parrainage des présidents chinois Zeming Jiang et français Jacques Chirac. Les premiers codirecteurs ont été Chaohao Gu et Jacques-Louis Lions. Philippe Ciarlet a été l'un des membres fondateurs de l'ISFMA, son codirecteur entre 1999 et 2001, puis le codirecteur du comité scientifique de 2001 à 2003. Il en a lui-même organisé différentes manifestations scientifiques, comme des écoles et colloques sur la théorie des plaques et des coques en 2001, sur les applications de la géométrie différentielle en 2006, etc. C'est à partir de l'expertise de l'ISFMA et avec l'appui du CNRS que le LIASFMA a été créé en 2014.

Philippe Ciarlet est également impliqué dans des activités éditoriales en Chine : il est éditeur de *Chinese Annals of Mathematics* et du *Journal of Computational Mathematics*, ainsi que des séries d'ouvrages : *Translated Series of French Mathematical Master Works* de Higher Education Press depuis 2008, et *Series in Contemporary Mathematics* de Shanghai Scientific and Technical Publishers et Springer depuis 2016.

L'Académie chinoise des sciences a élu Philippe Ciarlet comme membre étranger en 2006. En 2009, la ville de Shanghai lui a décerné un *International Scientific and Technological Cooperation Award*. Philippe Ciarlet est *University Distinguished Professor* à *City University of Hong Kong* depuis 2002. Philippe aime à raconter le commentaire de Jacques-Louis Lions en 1999, à propos de l'offre qu'il venait de recevoir de CityU : « Si jamais on te fait une proposition qui paraît insensée, ne dis jamais non a priori ! ». A Hong Kong, Philippe Ciarlet s'est attaché à promouvoir l'image de l'Académie des sciences de Paris et du Collège de France en organisant depuis une dizaine d'années un cycle de conférences de prestige, appelées les *France-Hong Kong Distinguished Lectures*, s'adressant à un public général. Placées sous les auspices de l'Académie des sciences de Paris et du Consulat général de France à Hong Kong, ces conférences font intervenir des invités français prestigieux, incluant cinq prix Nobel et trois médaillés Fields. En 2015, Philippe Ciarlet a été élu à l'Académie des sciences de Hong Kong.

Une journée célébrant la coopération scientifique entre la France et *City University of Hong Kong*, également dédiée à Philippe Ciarlet, se tiendra à *City University* le 12 novembre 2018, avec la participation de Serge Haroche, Jean-Marie Lehn, Tatsien Li, Pierre-Louis Lions et Jean Salençon.

Hommage à Gérard Tronel (1934-2017)
(Auditorium du campus Jussieu, 12 janvier 2018)

Communiqué par Alberto Farina et François Murat.

A la suite du décès de Gérard Tronel, le 25 août 2017, un groupe de ses collègues et amis a décidé d'organiser, avec le soutien du Laboratoire Jacques-Louis Lions (LJLL), de la SMAI, du CNRS et de Sorbonne Université, une après-midi dédiée à sa mémoire, pendant laquelle ont été rappelées les grandes qualités humaines de Gérard et l'activité multiforme qu'il a déployée tout au long de sa vie au service de la communauté et des mathématiques.

L'après-midi a commencé par un exposé scientifique donné à l'heure traditionnelle du séminaire du LJLL dont Gérard avait été longtemps le secrétaire. L'exposé a eu lieu dans l'Auditorium du campus Jussieu, une magnifique nouvelle salle en amphithéâtre qui avait été mise à disposition des organisateurs par Sorbonne Université. Philippe G. Ciarlet, ancien directeur du LJLL, maintenant professeur à la City University de Hong Kong, qui était venu spécialement pour participer à l'*Hommage*, a présenté ses travaux sur les *Inégalités de Korn non linéaires sur une surface*.

Après une petite pause café, la deuxième partie de l'après-midi a commencé par une allocution de Jean Chambaz, président de Sorbonne Université, qui a brièvement retracé la carrière de Gérard Tronel et a dit quelques mots sur son implication dans l'affaire Audin, soulignant l'importance que les scientifiques portent à la recherche de la vérité dans tous les domaines.

Mireille Chaleyat-Maurel a ensuite parlé de la préparation de l'*An 2000, année mondiale des mathématiques*, une initiative due à Jacques-Louis Lions. Celui-ci lui en avait confié la direction conjointement avec Gérard, lequel, comme elle l'a rappelé, aurait été capable de gravir le Kilimandjaro en planche à roulettes si J.-L. Lions le lui avait demandé.... Cette initiative ne s'est pas arrêtée à la préparation de l'année mondiale, marquée par la réalisation d'une série de Newsletters et l'animation d'une équipe internationale, mais a eu de grands et durables prolongements, en particulier par des expositions internationales de mathématiques en direction du grand public. Catherine Goldstein a ensuite rappelé les campagnes d'affichage dans les rames et sur les quais du métro, ainsi que la série d'affiches *Mathématiques de la vie quotidienne*.

En milieu d'après-midi a eu lieu une table ronde animée par Cédric Villani au cours de laquelle sont également intervenus Mohamed Amara (Président de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour), Jean-Pierre Raoult (Association Maurice Audin et Mouvement contre le Racisme et pour l'Amitié entre les Peuples (MRAP)), Emmanuel Trélat (Lauréat du Prix Audin 2010), et, par le biais d'une vidéo pré-enregistrée, Hacène Belbachir (ancien Directeur de la programmation de la recherche scientifique au Ministère de l'Enseignement supérieur algérien).

Pendant la table ronde ont été évoqués l'affaire Audin, la première série de prix Audin, et les prix Audin décernés à partir de 2004 sous l'impulsion de Gérard Tronel, qui a fait renaître ce prix pour que soit connue la vérité sur l'affaire Audin et pour que se développe la collaboration algéro-française en mathématiques. Cédric Villani a en outre fait part de l'intime conviction personnelle du Président de la République Emmanuel Macron que Maurice Audin avait été assassiné par l'armée française.

Après la table ronde, on est revenu au rôle de Gérard dans la promotion des mathématiques auprès du grand public, d'abord avec un exposé de Mireille Chaleyat-Maurel et de Guy-Antoine Dufourd sur l'exposition *Pourquoi les mathématiques ?*, puis avec un exposé de Brigitte Lucquin sur la brochure pour le grand public *L'explosion des mathématiques* et sa nombreuse descendance, et enfin par une intervention de Pierre Audin, dans laquelle il a été confirmé que Gérard n'hésitait pas à mettre la main à la pâte au niveau pratique lors des expositions, en particulier en Algérie.

Ces exposés ont été suivis par un témoignage d'Eugène Asarin plein de souvenirs et d'humour sur les relations de Gérard avec les mathématiciens russes. On y a découvert non seulement que Gérard avait appris l'alphabet cyrillique sur les stèles du cimetière russe de Sainte-Geneviève-des-Bois (!), mais encore qu'il avait joué un rôle moteur dans la coopération franco-russe en mathématiques, et qu'il connaissait (et était connu de) tous les grands mathématiciens russes spécialistes des équations aux dérivées partielles.

Les dernières interventions ont été celle de Jean-Pierre Brossard, un ami et ancien étudiant de Gérard, qui a parlé des relations de celui-ci avec la mécanique, suivie de celles de Yann Brenier et Frédéric Hecht qui, comme nombre de nos collègues, ont été des étudiants de Gérard à Jussieu et qui ont rapporté quelques anecdotes sur les cours qu'il leur a donnés.

Après quelques mots de remerciements par Denis Tronel, au nom de la famille Tronel, cet *Hommage* s'est terminé par un verre de l'amitié.

C'était une magnifique après-midi, très intéressante et très émouvante, qui correspondait à ce que Gérard aurait, nous le pensons, apprécié. A tous ceux qui l'ont connu et qui étaient présents (plus de 200 personnes), elle a rappelé l'homme qu'il était et combien nous l'appréciions.

On peut trouver la plupart des textes des interventions de ce 12 janvier 2018 sur le site dédié à l'*Hommage à Gérard Tronel* :

https://www.ljll.math.upmc.fr/Hommage-Gerard-Tronel-12janv2018/index.php

et en particulier sur sa page *Programme* :

https://www.ljll.math.upmc.fr/Hommage-Gerard-Tronel-12janv2018/programme.php

Rappelons en outre l'article sur la vie de Gérard Tronel paru dans le numéro 114 de Matapli (novembre 2017) pages 25-28 ; cet article figure sur la page *Documents* du site de l'*Hommage à Gérard Tronel*

https://www.ljll.math.upmc.fr/Hommage-Gerard-Tronel-12janv2018/doc.php

où l'on trouvera également nombre d'autres documents relatifs à Gérard, sa vie et son action.

Crédit photos de ce compte rendu : Pierre Kitmacher, Sorbonne Université.

Premier Congrès Franco-Marocain de Mathématiques Appliquées

http://pcfm-ma.iecl.univ-lorraine.fr/

Communiqué par El Haj LAAMRI,
président du comité d'organisation.

Le PCFMMA (**P**remier **C**ongrès **F**ranco-**M**arocain de **M**athématiques **A**ppliquées) a eu lieu du 16 au 20 avril à Marrakech. Ce congrès était parrainé scientifiquement et moralement par deux académies : l'Académie des Sciences de Paris, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques ; et par trois sociétés savantes : la Société Mathématique de France (SMF), la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) ainsi que la Société Marocaine de Mathématiques Appliquées.

Le comité d'organisation a été composé de

- El Haj Laamri, Simon Labrunie, Hélène Jouve (Université de Lorraine)
- Abdelghafour Atlas, Fahd Karami, Driss Meskine (Université Cadi Ayyad)
- Driss Ouazar (Université Polytechnique Mohammed VI et Académie Hassan II des Sciences et Techniques).

Le programme a été établi en lien avec **un comité scientifique** international composé de

- Xavier Antoine et Antoine Henrot (Université de Lorraine)
- Hassan El Amri (Université Hassan II de Casablanca)
- Abdelhaq El Jai (Université de Perpignan et Académie Hassan II des Sciences et Techniques)
- Jean Mawhin (Université de Louvain et Académie Royale de Belgique)
- Youssef Ouknine (Université Cadi Ayyad et Académie Hassan II des Sciences et Techniques)
- Laure Saint-Raymond (ENS de Lyon et Académie des Sciences de Paris)
- Sylvia Serfaty (Courant Institute, Conférencière Plénière au Congrès international des Mathématiciens 2018).

Le congrès a été inauguré par Messieurs Jean-Pierre Mahoué (Conseiller de Coopération et d'Action Culturelle à l'Ambassade de France au Maroc), Driss Ouazar (Président de l'Université Polytechnique Mohammed VI et Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques), Blaid Bougadir (Vice-président de l'Université Cadi Ayyad et Directeur de l'Ecole Supérieure de Technologie d'Essaouira), Xavier Antoine (Directeur de l'Institut Elie Cartan de Lorraine) et El Haj Laamri (Président du comité d'organisation du congrès).

Conférences plénières d'une heure : B. Abdellaoui (Université de Tlemcen et Académie Algérienne des Sciences), A. Alaoui (Université du Havre Normandie), L. Boccardo (Université de Roma 1), V. Bonnaillie-Noël (CNRS et ENS de Paris), L. Desvillettes (Université Paris Diderot), A. Djebbar (Université des Sciences et

Techniques de Lille et Académie Algérienne des Sciences), K. Fellner (Université de Graz), I. Gallagher (Université Paris Diderot et ENS de Paris, *Lauréate de la médaille d'argent du CNRS en 2016*), A. Jüngel (Université Technique de Vienne), G. Lebeau (Université de Nice et Académie des Sciences de Paris, *lauréat de la médaille d'argent du CNRS en 1992*), M. Lemou (CNRS et ENS de Rennes), P.-L. Lions (Collège de France et Membre de plusieurs académies, ***Médaillé Fields* 1994**), S. Méléard (Ecole Polytechnique), E.-M. Ouhabbaz (Université de Bordeaux et Membre de l'Académie Hassan II), M. Pierre (ENS de Rennes), N. Raissi (Université Mohammed V), O. Rioul (Télécom Paris et Ecole Polytechnique), E. Zuazua (DeustoTech-Bilbao et Universidad Autónoma de Madrid, *Docteur Honoris Causa de l'Université de Lorraine*).
Chacun(e) des conférenciers pléniers a exposé les résultats les plus récents de ses recherches, sans oublier de passer en revue les problématiques les plus actuelles de la recherche en mathématiques appliquées.

Pierre-Louis Lions au cours de sa conférence

Mini-conférences d'une demi-heure : S. Ajagjal (Université Cadi Ayyad), A. Attar (Université de Tlemcen), C. David (Sorbonne Université), N. El Khattabi (Université Mohammed V), N. El Maaroufi (Université Internationale de Rabat), Y. Hafiene (Université de Caen), A. Hayat (Sorbonne Université), S. Miri (Université de Tlemcen), Ch. Rabut (INSA de Toulouse), N. Riane (Université Mohammed V), C. Pouchol (Sorbonne Université), Kh. Sadik (Université Cadi Ayyad) et S. Touhami (Université Moulay Ismail).

En plus des conférences orales, **une session poster** a été organisée pour permettre aux doctorants de présenter leurs travaux et d'engager la conversation avec des chercheurs confirmés. Ce congrès a été également *ouvert au grand public et sur les cultures*. En effet, en plus des conférences spécialisées, nous avons organisé deux conférences à destination du grand public. La première conférence intitulée *Les mathématiques arabes : héritages, contributions nouvelles et circulation en Europe* a été donnée par Ahmed Djebbar. La deuxième intitulée *Probabilités, Irréversibilité et Propagation du chaos* ? a été donnée par Isabelle Gallagher. Ces deux conférences grand public ont été organisées en partenariat avec l'Institut Français de Marrakech et ont eu lieu dans l'amphi X de la faculté des Sciences Semlalia

de Marrakech devant plus de 400 personnes chaque fois. A ce propos, je voudrais remercier le doyen de la faculté des Sciences Semlalia de nous avoir généreusement prêté les présentoirs pour la session des posters, et de nous avoir accueilli pour les conférences grand public.

Les mathématiciennes étaient à l'honneur, avec quatre conférences plénières

Conférence grand public : I. Gallagher et E.H. Laamri

sur dix-neuf, une conférence grand public sur deux, et six mini-conférences sur treize données par des collègues féminines. Ce fait a été relevé par Pierre-Louis Lions comme un signe encourageant pour l'avenir et le dynamisme des mathématiques en France et au Maroc.

Les détails de cette manifestation (notamment les transparents de la majorité des exposés oraux) sont sur la page web du congrès : http://pcfm-ma.iecl.univ-lorraine.fr/conferenciers. D'autre part, le congrès s'est passé dans une atmosphère extrêmement chaleureuse et dans un cadre très agréable. Aussi le très beau temps a permis à tous les participants de profiter de la piscine et de visiter différents lieux sympathiques de Marrakech comme la fameuse place Jameâ Lefna, jardin Majorelle, ...tombeaux des Saâdiens, ...

Enfin, de nombreuses institutions se sont mobilisées en apportant leur soutien financier. Je souhaiterais, à cette occasion, les en remercier chaleureusement :

- **du côté français** : CNRS, INRIA, le service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France au Maroc, l'Agence universitaire de la Francophonie, l'Institut Elie Cartan de Lorraine, l'IUT Nancy-Charlemagne, l'IUT Nancy-Brabois, le Groupement Euro-Maghrébin de Mathématiques et leurs Interactions, l'Equipe EDP de l'Institut Elie Cartan de Lorraine.
- **du côté marocain** : l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, l'Université Polytechnique Mohammed VI, l'Université Cadi Ayyad et l'Ecole Supérieure de Technologie d'Essaouira.
- **les institutions des collègues** qui ont pris en charge leurs frais de voyage.

Le "MOnde des Mathématiques Industrielles” (MOMI)

Communiqué par Nathalie GAYRAUD, Evgenia KARTSAKI, Dimitra POLITAKI, Selma SOUIHEL, Milica TOMASEVIC

Le Monde des Mathématiques Industrielles (MOMI) est un atelier qui s’est déroulé le 26 et 27 février 2018 dans les locaux d’Inria Sophia Antipolis - Méditerranée (SAM). Ce projet a été soutenu par Inria SAM dans le cadre du séminaire des doctorants (PhD Seminars). MOMI a été co-financé par la Maison de la Modélisation, de la Simulation et des Interactions, de l’Université Côte d’Azur (MSI–UCA), dans le cadre des projets "Joint, Excellent and Dynamic Initiative", par l’Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l’Entreprise et la Société (AMIES – programme Investissements d’Avenir – projets "Laboratoires d’excellence") par le Labex User Centric Network @ Sophia, la Société des Mathématiques Appliquées (SMAI), en tant que projet BOUge tes Maths (BOUM) et par l’Inria SAM.

Dans le but de donner l’occasion aux jeunes chercheurs de découvrir le monde de l’entreprise ayant des thématiques en rapport avec les mathématiques appliquées, MOMI a réuni 91 personnes sur deux jours, dont 11 intervenants et 80 chercheurs, doctorants, et ingénieurs. Sur 80 participants inscrits, 66 viennent d’Inria, 12 d’autres laboratoires de recherche locaux, comme par exemple, l’UNS, LEAT, et I3S, et 2 d’autres organismes de recherche français. Nous soulignons que la grande majorité des participants sont des doctorants ou des post-doctorants, car nous avons organisé MOMI dans l’esprit du séminaire des doctorants du centre Inria SAM, dont nous sommes les responsables actuels.

Le premier jour, deux conférences ont eu lieu, données par Don TOWSLEY, professeur de l’Université de Massachusetts Amherst, et le Dr. Nidhi HEDGE, chercheuse à Bell Labs, membre du groupe IFIP[3] et éditrice du journal Performance Evaluation Review. Le professeur TOWSLEY, a présenté ses travaux sur la "Tomographie de Réseaux" et les problèmes ouverts. Puis, le Dr. HEDGE, qui compte environ 13 ans d’expérience de recherche en industrie, a parlé de la recherche appliquée en mathématiques et notamment de "Pertinence et challenges". Le deuxième jour, le professeur Carl Graham du Centre de Mathématiques Appliquées de l’Ecole Polytechnique a exposé des exemples d’évaluation des performances des algorithmes distribués dans les réseaux de communication. Au cours de l’après-midi, 8 industriels ont exposé les problématiques mathématiques auxquelles ils sont confrontés. En début d’après-midi, pendant les deux journées, une session très fructueuse de présentation de posters scientifiques a eu lieu. 11 posters ont été exposés par les doctorants des écoles doctorales SFA[4] et STIC[5].

3. International Federation for Information Processing Working Group 7.3
4. Sciences Fondamentales et Appliquées
5. Sciences et Technologies de l’Information et de la Communication

Tout au long de l'atelier, les participants ont eu l'occasion d'interagir, de partager et, pour certains, de préparer leur intégration professionnelle. Ces échanges ont été favorisés d'une part, pendant la session de présentation de posters scientifiques, les pauses déjeuner et café, et d'autre part, grâce à l'organisation d'un événement social qui s'est déroulé au restaurant Le Transat à Antibes et auquel 64 personnes ont participé. MOMI fut un événement enrichissant tant pour les chercheurs que pour les industriels. La multitude d'échanges entre participants, tout au long de l'atelier, leur a donné l'opportunité de créer de nouveaux contacts, d'assister à des exposés informels et fut aussi une source importante de perspectives de recrutement pour les doctorants. Son succès nous amène à envisager la poursuite de son organisation annuelle.

Financement L'atelier a obtenu un financement de 8,213.18€ au total, soit 1018,60€ de la part de la SMAI, de 2300€ de la part de AMIES, de 2590€ de la part de MSI-UCA, de 1654.58€ de LABEX. L'Inria SAM a également financé le projet à la hauteur de 650€, hormis les dépenses associées à la diffusion de l'atelier, la mise à disposition de la salle de conférence où a eu lieu l'atelier, ainsi que le personnel nécessaire à la diffusion de l'atelier, la gestion des dépenses, et au fonctionnement de la salle de conférence.

Remerciements Nous souhaitons remercier M. Denis TALAY de nous avoir inspiré l'entreprise de ce projet, et d'avoir été notre guide tout le long du chemin. Au même titre, nous remercions M. Laurent BUSÉ pour ses suggestions et ses bons conseils. Nous exprimons aussi notre gratitude à Mme Sara ALOUF et M. Damien SAUCEZ, ainsi qu'à Mme Olga KIEFFER de nous avoir présenté leurs précieux contacts dans le monde industriel. Nous tenons aussi à remercier le directeur d'Inria SAM, M. David SIMPLOT, pour son soutien et pour l'enthousiasme qu'il a exprimé vis a vis de notre projet, ce qui contribue à notre motivation de poursuivre l'organisation de MOMI et d'en faire un événement annuel. L'organisation et la diffusion de cet événement auraient été des taches bien plus difficiles sans l'aide indispensable de Mme Christine FABER, Mme Agnès BESSIERE et Mme Agnès CORTELL que nous remercions chaleureusement. Nous sommes également reconnaissants envers Mlle Dora KARVOUNIARI pour son aide pendant les premières taches concernant l'organisation de MOMI et au cours de l'événement. De plus, nous remercions Mlle Antonia MACHLOUZARIDES-SHALIT, M. Ali Aboudou ELARIF, et M. Michael FELL, de nous avoir apporté leur aide au cours de MOMI. Bien sur, nous n'oublierons pas les photographes de l'événement : M. Marco BENZI, M. Konstantinos MAVREAS et M. Christos PAPAGEORGAKIS. Bien entendu, nous adressons nos plus vifs remerciements aux trois conférenciers pléniers pour leurs interventions passionnantes, ainsi qu'à tous les orateurs industriels pour leur disponibilité et pour les ouvertures vers le monde industriel. Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont participé à MOMI.

Programme de l'atelier

Jour 1

09.15 Ouverture de l'atelier

Session du 1^er conférencier plénier

09.30 Partie I - Prof. Don TOWSLEY(*Université de Massachusetts Amherst*)
10.45 Pause-Café
11.15 Partie II - Prof. Don TOWSLEY(*Université de Massachusetts Amherst*)

12.30-14.30 Déjeuner et session d'affiches (poster session)

Session du 2^e conférencier plénier

14.30 Partie I - Dr. Nidhi HEDGE (*Nokia Bell Labs*)
15.45 Pause-Café
16.15 Partie II - Dr. Nidhi HEDGE (*Nokia Bell Labs*)

Jour 2

Session du 3^e conférencier plénier

09.15 Partie I - Prof. Carl GRAHAM (Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique)
10.00 Pause-Café
10.30 Partie II - Prof. Carl GRAHAM (Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique)

12.00-14.00 Déjeuner et session d'affiches (poster session)

Session des invités industriels

14.00 Nicaise CHOUNGMO FOFACK, PROLOGISM
14.30 Milos COLIC, Amadeus
15.00 Antonino SABETTA, SAP
15.30 Pause-Café
16.00 Stefano CASAGRANDA, Olea Medical (Toshiba Medical Company)
16.30 Simon NANTY, Amadeus
17.00 Fabien ASTIC, Exactcure
17.30 Antonino BOZCO, Mitsibushi

Symposium

MODELISATION ET STATISTIQUE EN ECOLOGIE ET EN BIOSCIENCES

Communiqué par Catherine ABADIE, Anne DUTOUR
UMR Biologie et Génétique des Interactions Plantes-Parasites
Direction Régionale Antilles-Guyane, CIRAD
David MAKOWSKI
INRA AgroParisTech, Paris Grignon
Marylène TROUPÉ, Jean VAILLANT, Larissa VALMY
Laboratoire de Mathématiques Informatique et Applications (LAMIA),
Université des Antilles

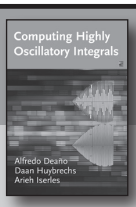
L'édition 2018 du Symposium de Modélisation et Statistique en Ecologie et en Biosciences s'est tenue du 15 au 16 mai sur le Campus de Fouillole de l'Université des Antilles en Guadeloupe. Ce symposium, co-organisé par le Laboratoire de Mathématiques Informatique et Applications (LAMIA), le CIRAD et l'INRA, avait pour but de faire l'état de l'art sur les outils récents des mathématiques et de la statistique pour l'étude de données écologiques et en biosciences.

Accueillant deux conférenciers invités, David MAKOWSKI (INRA Paris Grignon) et Samuel SOUBEYRAND (INRA Avignon), la manifestation a compté plus de quatre-vingt chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants venus assister à une vingtaine d'exposés scientifiques.

Ces deux journées furent l'occasion d'échanges scientifiques fructueux dans le domaine des applications des mathématiques. Elles furent suivies par une journée de formation doctorale sur les outils de la statistique en agro-écologie dans l'environnement R.

Notable Titles in **Applied Math** from SIAM

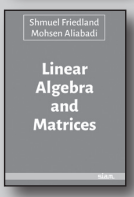
Society for Industrial and Applied Mathematics



Computing Highly Oscillatory Integrals
Alfredo Deaño, Daan Huybrechs, and Arieh Iserles

Highly oscillatory phenomena range across numerous areas in science and engineering and their computation represents a difficult challenge. Research in the past 15 years resulted in a range of very effective and affordable algorithms for highly oscillatory quadrature. This is the only monograph bringing together the new body of ideas in this area in its entirety.

2018 • x + 180 pages • Softcover • 978-1-611975-11-6
List $79.00 • Member $55.30 • OT155



Linear Algebra and Matrices
Shmuel Friedland and Mohsen Aliabadi

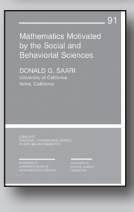
This introductory textbook grew out of several courses in linear algebra given over more than a decade and includes such helpful material as constructive discussions about the motivation of fundamental concepts; many worked-out problems in each chapter; and topics rarely covered in typical linear algebra textbooks.

2018 • xvi + 285 pages • Softcover • 978-1-611975-13-0
List $69.00 • SIAM Member $48.30 • OT156

Elementary Numerical Analysis: *An Algorithmic Approach*
S. D. Conte and Carl de Boor
Classics in Applied Mathematics 78

This textbook provides a thorough and careful introduction to the theory and practice of scientific computing at an elementary, yet rigorous, level, from theory via examples and algorithms to computer programs.

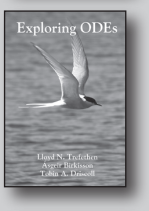
2017 • xxiv + 456 pages • Softcover • 978-1-611975-19-2
List $76.00 • SIAM Member Price $53.20 • CL78



Mathematics Motivated by the Social and Behavioral Sciences
Donald G. Saari
CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 91

The author explains new mathematical approaches to the social and behavioral sciences in an introductory, expository, and accessible manner and explores new ways to handle dynamics and evolutionary game theory, to identify subtleties of decision and voting methods, and to recognize unexpected modeling concerns.

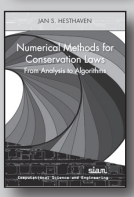
2018 • xviii + 171 pages • Softcover • 978-1-611975-17-8
List $59.00 • SIAM Member $41.30 • CB91



Exploring ODEs
Nick Trefethen, Ásgeir Birkisson, and Tobin A. Driscoll

Exploring ODEs is a textbook of ordinary differential equations for advanced undergraduates, graduate students, scientists, and engineers. It is unlike other books in this field in that each concept is illustrated numerically via a few lines of Chebfun code. There are about 400 computer-generated figures in all, and Appendix B presents 100 more examples as templates for further exploration.

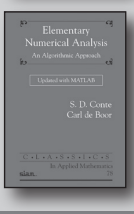
2018 • viii + 335 pages • Hardcover • 978-1-611975-15-4
List $64.00 • SIAM Member $44.80 • OT157



Numerical Methods for Conservation Laws: *From Analysis to Algorithm*
Jan S. Hesthaven
Computational Science and Engineering 18

This book offers the first comprehensive introduction to modern computational methods and their analysis for hyperbolic conservation laws, building on intense research activities for more than four decades of development.

2017 • xvi + 570 pages • Softcover • 978-1-611975-09-3
List $89.00 • Member $62.30 • CS18



SIAM
Society for Industrial and Applied Mathematics

ORDER at bookstore.siam.org

All prices are in US dollars.

Use your credit card (AMEX, Discover, MasterCard, or VISA) when ordering online, by phone at +1-215-382-9800 worldwide or toll free at 800-447-SIAM in USA and Canada, or by fax at +1-215-386-7999 • Send check or money order to: SIAM, Dept. BKMA18, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688. Members and customers outside North America can also order through SIAM's distributor, the Eurospan Group, at www.eurospanbookstore.com/siam.

3/18

Résumés de thèses et HdR

par Cécile LOUCHET

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 400 mots ou 3000 caractères. 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

Amandine VÉBER

Modèles structurés de transmission

Soutenue le 17 novembre 2017
CMAP - École polytechnique

Cette thèse d'habilitation aborde deux thèmes. Le premier et principal est celui de la modélisation et de la compréhension de l'évolution de la diversité génétique d'une population, en particulier lorsque cette population a une structure spatiale continue. Pour commencer, nous présentons les résultats obtenus la plupart du temps dans le cadre très général du *processus* Λ-*Fleming-Viot spatial*. Ce processus à valeurs mesures est un outil très flexible pour étudier l'évolution d'une population vivant dans un espace continu de dimension d, $d = 2$ étant évidemment la dimension la plus pertinente pour les applications biologiques. Puis sont résumés quelques résultats sur le *pédigré* d'une population avec et sans structure. Plus précisément, nous décrivons les relations généalogiques au sein d'un échantillon d'individus diploïdes du point de vue de leur parenté « physique », ces parents étant ensuite ou non des ancêtres génétiques de l'échantillon. Dans le troisième chapitre, nous discutons une nouvelle approche pour la reconstruction de paramètres démographiques affectant la distribution des arbres généalogiques, et donc de la diversité génétique, de la même manière quel que soit l'endroit du génome considéré. Cette approche est fondée sur l'idée simple de simuler les arbres généalogiques à leur *résolution* optimale, qui dépend du type de données disponibles pour l'inférence.
Le second thème concerne la modélisation d'un certain type de partage de ressources dans des réseaux de communication. Ceci correspond au dernier chapitre, dans lequel nous analysons le comportement en temps long et la stabilité d'un système de files d'attente régulées à travers un graphe d'incompatibilités de service. Par ailleurs, afin d'empêcher une file particulièrement grande de monopoliser la capacité de service, nous supposons que chaque file est servie à un taux proportionnel au logarithme de sa taille. Nous décrivons la *limite fluide* du système lorsque la

taille de l'une des files tend vers l'infini, en détaillant le rôle de différentes échelles de temps intermédiaires dans le comportement asymptotique obtenu. Nous commençons par le cas d'un réseau d'incompatibilités correspondant au graphe complet (i.e., une seule file peut être servie à la fois), puis nous considérons le réseau en étoile (les files périphériques n'interférant qu'avec la file centrale).

Amandine MARREL

Contributions to the uncertainty management in numerical simulations : Statistical methods for metamodeling and sensitivity analysis

Soutenue le 9 novembre 2017
INSA Toulouse

Complex computer codes are commonly used to model, investigate and predict many physical phenomena. These simulators often need a large number of uncertain input variables and can provide as output high-dimensional results. In this framework, stochastic methods have become an essential tool for the uncertainty treatment and analysis in computer experiments. The present document constitutes my habilitation thesis report. It proposes a synthesis of my scientific contributions and activities in this area of applied mathematics, during the twelve last years, since my PhD thesis until my works as research engineer at CEA Cadarache. The contributions are structured around three complementary themes. The first one is dedicated to Gaussian process (Gp) metamodeling. Practical solutions are provided in order to efficient build Gp metamodel and choose both learning and validation designs. A joint-Gp approach is developed for stochastic code or code with complex input. A new methodology for incorporating any type of linear constraints in Gp metamodeling is also proposed. The second chapter focuses on Sensitivity Analysis (SA). First, the estimation of variance-based and derivative-based SA indices with Gp is addressed. Then, the use of dependence measures for SA is investigated : several independence tests are proposed for screening purpose and several other research directions (currently studied) are presented. The last chapter is concerned by the uncertainty treatment for functional variables. First, solutions are proposed to build metamodels and perform sensitivity analysis for functional output. Then, a methodology is developed to quantify and visualize the uncertainties of dependent functional random variables from a sample of their realizations. Throughout the document, several industrial applications are proposed to illustrate all the developed methods. Research perspectives are also identified for each theme.

Ève LECONTE

Contributions à l'analyse statistique des données censurées à droite

Soutenue le 2 février 2018
Université Toulouse 1 Capitole

Ce mémoire est la synthèse de mes travaux de recherche menés ces vingt dernières années, essentiellement dans le cadre de l'analyse des durées censurées à droite, c'est-à-dire quand on ne dispose pour certains individus que d'une borne inférieure de leur durée d'intérêt. Dans ce cadre, la plupart de mes travaux peuvent se classer dans trois axes de recherche, à savoir :

1. l'estimation non paramétrique de fonctions de répartition (fdr) et de leurs fonctionnelles,
2. l'analyse de données censurées multivariées : événements répétés et/ou risques concurrents,
3. la sélection de variables dans les modèles de survie en grande dimension.

Concernant le premier axe, avec Sandrine Casanova et Christine Thomas-Agnan, nous avons proposé des estimateurs non paramétriques doublement lisses de la fdr conditionnelle et des quantiles d'une variable censurée à droite, c'est-à-dire lisses par rapport à la variable d'intérêt et par rapport à la covariable. Nous montrons que ce double lissage permet d'améliorer les performances des estimateurs. Avec Yves Aragon, Ray Chambers et Sandrine Casanova, nous avons proposé des estimateurs non paramétriques des ordres-expectiles conditionnels et montré leur intérêt pour obtenir un classement des individus ajusté sur leurs caractéristiques. Avec Sandrine Casanova, nous avons proposé dans le cadre des sondages un estimateur non paramétrique de la fdr en population finie et sur petits domaines avec une approche basée sur un modèle.
Dans le deuxième axe, avec Gérard Derzko, biostatisticien chez Sanofi-Synthélabo, nous avons montré que dans le contexte des risques concurrents, les données observées pouvaient relever de deux mécanismes de création très différents, le mécanisme de sélection par minimum et le mécanisme de mélange censuré. Nous avons développé des algorithmes permettant d'estimer non paramétriquement les fonctions d'incidence cumulée d'intérêt dans ces deux cas distincts. Nous avons ensuite proposé un estimateur convergent non paramétrique de l'incidence cumulée d'événements répétés, rang par rang ou globale, en présence de censure à droite et de troncature des événements d'intérêt par un événement absorbant. Avec Thomas Filleron, méthodologiste-biostatisticien à l'Institut Claudius Regaud et notre étudiant en thèse Serge Somda, nous avons proposé une méthode pour déterminer la durée optimale du suivi post-thérapeutique de patients en rémission de leur cancer en prenant en compte les risques concurrents associés aux différents types de rechute possibles. Nous avons ensuite proposé un calendrier optimal pour les visites de contrôle.

Laurent DOYEN

Imperfect maintenance : Stochastic modelling, statistical inference, software development and real case study

Soutenue le 16 mars 2018

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université de Grenoble

Maintenance is carried out on repairable industrial systems throughout their life cycle to keep them in, or restore them to, an operating state. Maintenance, by providing an essential contribution to the operational system reliability, plays a great part in risk management and constitutes a crucial element in the performance of an industrial installation. The basic assumptions on maintenance effectiveness are known as minimal maintenance or As Bad As Old effect and perfect maintenance or As Good As New effect. Reality falls between these two extreme cases. This is known as imperfect maintenance. This synthesis of my research activity is organized around a real case study corresponding to the successive failure and maintenance times of identical engines of Brazilian mining trucks. First, classical recurrent event models incorporating imperfect maintenance effects are presented. Statistical inference methods are then proposed. Both frequentist and Bayesian inference are considered. Special emphasis is given to semiparametric estimation. In fact, usual profile likelihood method does not lead to consistent estimator in this case. But we have proved that the consistency property can be recovered by smoothing the infinite dimensional parameter in the profile likelihood function. Particular frameworks have been developed in order to take into account the different maintenance types : corrective maintenance, time-base or condition based preventive maintenance. Finally, models with random unobserved maintenance effects are considered. EM types algorithms have to be used for inference in this case. Most of the proposed methods are implemented in our R package VAM.

Keywords : Statistical inference, probabilistic modelling, recurrent event, stochastic process, reliability, repairable system.

Thèses de doctorat d'université

Marc ABEILLE

Directeurs de thèse : Rémi Munos et Alessandro Lazaric (INRIA Lille), Emmanuel Sérié (Capital Fund Management).

Algorithmes de Thompson sampling pour l'exploration-exploitation dans les systèmes linéaires

Soutenue le 13 décembre 2017
Université Lille 1

Cette thèse est dédiée à l'étude du Thompson Sampling (TS), une heuristique qui vise à surmonter le dilemme entre exploration et exploitation qui est inhérent à tout processus décisionnel face à l'incertain. Contrairement aux algorithmes issus de l'heuristique optimiste face à l'incertain (OFU), où l'exploration provient du choix du modèle le plus favorable possible au vu de la connaissance accumulée, les algorithmes TS introduisent de l'aléa dans le processus décisionnel en sélectionnant aléatoirement un modèle plausible, ce qui les rend bien moins coûteux numériquement. Cette étude se concentre sur les problèmes paramétriques linéaires, qui autorisent les espaces état-action continus (infinis), en particulier les problèmes de Bandits Linéaires (LB) et les problèmes de contrôle Linéaire et Quadratique (LQ). Nous proposons dans cette thèse de nouvelles analyses du regret des algorithmes TS pour chacun de ces deux problèmes. Bien que notre démonstration pour les LB garantisse une borne supérieure identique aux résultats préexistants, la structure de la preuve offre une nouvelle vision du fonctionnement de l'algorithme TS, et nous permet d'étendre cette analyse aux problèmes LQ. Nous démontrons la première borne supérieure pour le regret de l'algorithme TS dans les problèmes LQ, qui garantit dans le cadre fréquentiste un regret au plus d'ordre $O(\sqrt{T})$. Enfin, nous proposons une application des méthodes d'exploration-exploitation pour les problèmes d'optimisation de portefeuille, et discutons dans ce cadre le besoin ou non d'explorer activement.

Mira AL KHARBOUTLY

Directeur de thèse : Adnan Yassine (université du Havre).

Résolution d'un problème quadratique non convexe avec contraintes mixtes par les techniques de l'optimisation D.C.

Soutenue le 4 avril 2018
Université du Havre

Notre objectif dans cette thèse est de résoudre un problème quadratique binaire sous contraintes mixtes par les techniques d'optimisation DC. Puisque l'optimisation DC a prouvé son efficacité pour résoudre des problèmes de grandes tailles dans différents domaines, nous avons décidé d'appliquer cette approche d'optimisation

pour résoudre ce problème. La partie la plus importante de l'optimisation DC est le choix d'une décomposition adéquate qui facilite la détermination et accélère la convergence de deux suites construites. La première suite converge vers la solution optimale du problème primal et la seconde converge vers la solution optimale du problème dual. Dans cette thèse, nous proposons deux décompositions DC efficaces et simples à manipuler. L'application de l'algorithme DC (DCA) nous conduit à résoudre à chaque itération un problème quadratique convexe avec des contraintes mixtes, linéaires et quadratiques. Pour cela, il faut trouver une méthode efficace et rapide pour résoudre ce dernier problème à chaque itération. Pour cela, nous appliquons trois méthodes différentes : la méthode de Newton, la programmation semi-définie positive et la méthode de points intérieurs. Nous présentons les résultats numériques comparatifs sur les mêmes repères de ces trois approches pour justifier notre choix de la méthode la plus rapide pour résoudre efficacement ce problème.

Aurore ARCHIMBAUD

Directeurs de thèse : Anne Ruiz-Gazen (TSE-R), Klaus Nordhausen (CSTAT - Vienna University of Technology).

Méthodes statistiques de détection d'observations atypiques pour des données en grande dimension

Soutenue le 26 janvier 2018

Université Toulouse 1 - Capitole

La détection d'observations atypiques de manière non-supervisée est un enjeu crucial dans la pratique de la statistique. Dans le domaine de la détection de défauts industriels, cette tâche est d'une importance capitale pour assurer une production de haute qualité. Avec l'accroissement exponentiel du nombre de mesures effectuées sur les composants électroniques, la problématique de la grande dimension se pose lors de la recherche d'anomalies. Pour relever ce challenge, l'entreprise ippon innovation, spécialiste en statistique industrielle et détection d'anomalies, s'est associée au laboratoire de recherche TSE-R en finançant ce travail de thèse. Le premier chapitre commence par présenter le contexte du contrôle de qualité et les différentes procédures déjà mises en place, principalement dans les entreprises de semi-conducteurs pour l'automobile. Comme ces pratiques ne répondent pas aux nouvelles attentes requises par le traitement de données en grande dimension, d'autres solutions doivent être envisagées. La suite du chapitre résume l'ensemble des méthodes multivariées et non supervisées de détection d'observations atypiques existantes, en insistant tout particulièrement sur celles qui gèrent des données en grande dimension. Le chapitre 2 montre théoriquement que la très connue distance de Mahalanobis n'est pas adaptée à la détection d'anomalies si celles-ci sont contenues dans un sous-espace de petite dimension alors que le nombre de variables est grand. Dans ce contexte, la méthode Invariant Coordinate Selection (ICS) est alors introduite comme une alternative intéressante à la mise en évidence de la structure des données atypiques. Une méthodologie pour sélectionner seulement les composantes d'intérêt est proposée et ses performances sont comparées aux standards

habituels sur des simulations ainsi que sur des exemples réels industriels. Cette nouvelle procédure a été mise en œuvre dans un package R, ICSOutlier, présenté dans le chapitre 3 ainsi que dans une application R shiny (package ICSShiny) qui rend son utilisation plus simple et plus attractive. Une des conséquences directes de l'augmentation du nombre de dimensions est la singularité des estimateurs de dispersion multivariés, dès que certaines variables sont colinéaires ou que leur nombre excède le nombre d'individus. Or, la définition d'ICS par Tyler et al. (2009) se base sur des estimateurs de dispersion définis positifs. Le chapitre 4 envisage différentes pistes pour adapter le critère d'ICS et investigue de manière théorique les propriétés de chacune des propositions présentées. La question de l'affine invariance de la méthode est en particulier étudiée. Enfin, le dernier chapitre se consacre à l'algorithme développé pour l'entreprise. Bien que cet algorithme soit confidentiel, le chapitre donne les idées générales et précise les challenges relevés, notamment numériques.

Chloé AUDEBERT

Directeurs de thèse : Jean-Frédéric Gerbeau et Irène E. Vignon-Clementel (INRIA, LJLL).

Modèles mathématiques de l'hémodynamique et de la fonction du foie lors d'une hépatectomie

Soutenue le 24 février 2017

Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

L'ablation partielle du foie est une chirurgie qui intervient dans le traitement des lésions du foie et lors d'une transplantation partielle de foie. Les relations entre l'hémodynamique du foie, son volume et ses fonctions restent à élucider pour mieux comprendre les causes des complications de ces chirurgies. Lors de la chirurgie, l'hémodynamique du foie est altérée suite à l'augmentation de la résistance au flux sanguin de l'organe. La régénération du foie semble dépendante des changements de débit et de pression dans la veine porte. D'autre part, comme le foie reçoit 25% du débit cardiaque, la chirurgie impacte la circulation sanguine globale.

Dans ce contexte, le premier objectif est de mieux comprendre, grâce à des modèles mathématiques, l'influence de l'hépatectomie sur l'hémodynamique. Le second objectif est l'analyse de la perfusion et de la fonction du foie.

Premièrement, la procédure chirurgicale, les conditions expérimentales ainsi que les mesures obtenues sont détaillées.

Ensuite, les valeurs moyennes mesurées lors de douze chirurgies sont reproduites par un modèle de circulation entière, basé sur des équations différentielles ordinaires. Lors des différentes hépatectomies, des changements de forme de courbe sont observés. Un modèle de circulation entière, basée sur des équations 1D et 0D est proposé pour analyser ces changements. Ce travail pourrait permettre une meilleure compréhension des changements d'architecture du foie induits par l'hépatectomie. Puis, le transport dans le sang d'un composé ainsi que son traitement par le foie sont modélisés. Un modèle pharmacocinétique est développé et grâce aux mesures, les paramètres du modèle sont estimés.

Haithem BEN KAHLA
Directeurs de thèse : Ahmed Salam (université du Littoral) et Maher Moakher (École nationale d'ingénieurs de Tunis).

Sur des méthodes préservant les structures d'une classe de matrices structurées

Soutenue le 14 décembre 2017
Université du Littoral

Les méthodes d'algèbres linéaire classiques, pour le calcul de valeurs et vecteurs propres d'une matrice, ou des approximations de rangs inférieurs (low-rank approximations) d'une solution, etc..., ne tiennent pas compte des structures de matrices. Ces dernières sont généralement détruites durant le procédé du calcul. Des méthodes alternatives préservant ces structures font l'objet d'un intérêt important par la communauté. Cette thèse constitue une contribution dans ce domaine. La décomposition SR peut être calculé via l'algorithme de Gram-Schmidt symplectique. Comme dans le cas classique, une perte d'orthogonalité peut se produire. Pour y remédier, nous avons proposé deux algorithmes RSGSi et RMSGSi qui consistent à ré-orthogonaliser deux fois les vecteurs à calculer. La perte de la J-orthogonalité s'est améliorée de manière très significative. L'étude directe de la propagation des erreurs d'arrondis dans les algorithmes de Gram-Schmidt symplectique est très difficile à effectuer. Nous avons réussi à contourner cette difficulté et donner des majorations pour la perte de la J-orthogonalité et de l'erreur de factorisation. Une autre façon de calculer la décomposition SR est basée sur les transformations de Householder symplectique. Un choix optimal a abouti à l'algorithme SROSH. Cependant, ce dernier peut être sujet à une instabilité numérique. Nous avons proposé une version modifiée nouvelle SRMSH, qui a l'avantage d'être aussi stable que possible. Une étude approfondie a été faite, présentant les différentes versions : SRMSH et SRMSH2. Dans le but de construire un algorithme SR, d'une complexité d'ordre $O(n^3)$ où $2n$ est la taille de la matrice, une réduction (appropriée) de la matrice à une forme condensée (J(Hessenberg forme) via des similarités adéquates, est cruciale. Cette réduction peut être effectuée via l'algorithme JHESS. Nous avons montré qu'il est possible de réduire une matrice sous la forme J-Hessenberg, en se basant exclusivement sur les transformations de Householder symplectiques. Le nouvel algorithme, appelé JHSJ, est basé sur une adaptation de l'algorithme SRSH. Nous avons réussi à proposer deux nouvelles variantes, aussi stables que possible : JHMSH et JHMSH2. Nous avons constaté que ces algorithmes se comportent d'une manière similaire à l'algorithme JHESS. Une caractéristique importante de tous ces algorithmes est qu'ils peuvent rencontrer un breakdown fatal ou un "near breakdown" rendant impossible la suite des calculs, ou débouchant sur une instabilité numérique, privant le résultat final de toute signification. Ce phénomène n'a pas d'équivalent dans le cas Euclidien. Nous avons réussi à élaborer une stratégie très efficace pour "guérir" le breakdown fatal et traîter le near breakdown. Les nouveaux algorithmes intégrant cette stratégie sont désignés par MJHESS, MJHSH, JHM^{2}SH et JHM^{2}SH2.

Aloïs BISSUEL
Directeur de thèse : Grégoire Allaire (École Polytechnique).

Résolution des équations de Navier-Stokes linéarisées pour l'aéroélasticité, l'optimisation de forme et l'aéroacoustique

Soutenue le 22 janvier 2018
Université Paris Saclay

Les équations de Navier-Stokes linéarisées sont utilisées dans l'industrie aéronautique pour l'optimisation de forme aérodynamique, l'aéroélasticité et l'aéroacoustique. Deux axes ont été suivis pour accélérer et rendre plus robuste la résolution de ces équations. Le premier est l'amélioration de la méthode itérative de résolution de systèmes linéaires utilisée, et le deuxième la formulation du schéma numérique conduisant à ce système linéaire. Dans cette première partie, l'extension de l'algorithme GMRES avec déflation spectrale à des systèmes à plusieurs seconds membres a été testée sur des cas tests industriels. L'amélioration du préconditionnement de la méthode GMRES par l'utilisation d'une méthode de Schwarz additive avec préconditionneur ILU(k) a permis une accélération du temps de résolution allant jusqu'à un facteur dix, ainsi que la convergence de cas jusqu'alors impossibles à résoudre. La deuxième partie présente d'abord un travail sur la stabilisation SUPG du schéma élément fini utilisé. La forme proposée de la matrice de stabilisation, dite complète, a donné des résultats encourageants en non-linéaire qui ne se sont pas transposés en linéarisé. Une étude sur les conditions aux limites de Dirichlet clôt cette partie. Une méthode algébrique d'imposition de conditions non homogènes sur des variables non triviales du calcul, qui a permis l'application industrielle à l'aéroacoustique, y est détaillée. De plus, la preuve est apportée que le caractère transparent d'une condition de Dirichlet homogène sur toutes les variables s'explique par le schéma SUPG.

Vianney BŒUF
Directeurs de thèse : Stéphane Gaubert et Xavier Allamigeon (INRIA/CMAP, École polytechnique).

Dynamics of a two-level system with priorities and application to an emergency call center

Soutenue le 18 décembre 2017
École des ponts, INRIA/CMAP et Brigade de sapeurs pompiers de Paris

Nous analysons la dynamique de systèmes à événements discrets avec synchronisation et priorités, au moyen de réseaux de Petri et de réseaux de files d'attente. Nous appliquons cela à l'évaluation de performance d'un centre d'appels d'urgence.

Notre motivation est en premier lieu pratique. En 2016, un nouveau centre d'appels d'urgence a été mis en place pour l'agglomération parisienne, traitant les appels

pour la police et les pompiers. La nouvelle organisation comporte deux niveaux de traitement. Un premier niveau d'opérateurs répond aux appels, identifie les appels urgents et traite les appels non urgents. Les opérateurs de second niveau sont spécialistes (policiers ou pompiers) et traitent les demandes d'intervention. De plus, certains appels sont identifiés comme très urgents et bénéficient d'un traitement prioritaire. Nous nous intéressons à l'évaluation de performance de divers systèmes correspondant à cette description générale.

Nous proposons trois modélisations différentes. Les deux premières sont des modèles de réseaux de Petri temporisés. Nous enrichissons le cadre classique des réseaux de Petri à choix libres en autorisant des situations de conflit où le routage est résolu par des priorités. La principale difficulté est alors que l'opérateur de la dynamique n'est plus monotone.

Dans un premier modèle, nous proposons une dynamique discrète pour cette classe de réseaux de Petri. Nous prouvons que les variables compteurs du réseau sont les solutions d'un système affine par morceaux avec retards. Nous étudions les régimes stationnaires de cette dynamique, et caractérisons les régimes affines comme solutions d'un système affine par morceaux, qui peut être vu comme un système d'équations rationnelles sur le semi-corps de germes tropical (min plus). Les applications numériques montrent cependant que la convergence ne se fait pas toujours vers ces régimes stationnaires affines.

Le second modèle est une version infinitésimale du précédent. Pour la même classe de réseaux de Petri, nous proposons une dynamique sous forme d'équations différentielles : les jetons et le temps deviennent continus. Pour ce système différentiel discontinu, nous établissons l'existence et l'unicité de la solution. L'avantage de cette modélisation continue est que les pathologies du temps discret disparaissent. Nous montrons cependant que les régimes stationaires sont les mêmes que ceux de la dynamique discrète. Les simulations numériques semblent montrer que la convergence s'obtient effectivement dans ce cas.

Cécile CARRÈRE

Directrices de thèse : Assia Benabdallah et Guillemette Chapuisat (Aix-Marseille Université).

Prise en compte de l'hétérogénéité tumorale dans l'optimisation d'une chimiothérapie : contrôle optimal, analyse théorique et numérique

Soutenue le 6 octobre 2017

Aix-Marseille Université

Pour éviter l'apparition de cellules cancéreuses résistantes à une chimiothérapie, beaucoup de protocoles imposent de fortes doses de médicament : la dose maximale tolérée par le patient (MTD). Dans une série d'expériences in vitro menées par M. Carré au laboratoire du CRO2 à la Timone, Marseille, la présence de cellules résistantes dès le début du traitement fait échouer ce protocole, alors que l'utilisation

de plus faibles doses permet de contrôler la taille de la tumeur. Afin d'expliquer et d'optimiser ce phénomène, G. Chapuisat a développé un modèle EDO reproduisant les résultats de ces expériences. L'analyse du plan de phase de ce système, et l'utilisation de la théorie du contrôle optimal, permettent alors de déterminer des protocoles de traitements efficaces pour réduire la tumeur à une taille minimale. Afin de prendre en compte l'organisation spatiale des cellules, nous avons ensuite étudié un modèle EDP de compétition-diffusion de deux espèces dans un milieu favorable. Enfin, en collaboration avec H. Zidani, nous développons des méthodes d'optimisation numérique pour contrôler la taille de la tumeur au cours du temps.

Linxiao CHEN

Directeur de thèse : Nicolas Curien (université Paris Saclay).

Cartes planaires aléatoires couplées aux systèmes de spins

Soutenue le 16 avril 2018

Université Paris Saclay

Cette thèse vise à améliorer notre compréhension des cartes planaires aléatoires décorées par les modèles de physique statistique. On examine trois modèles particuliers à l'aide des outils provenant de l'analyse, de la combinatoire et des probabilités. Dans une perspective géométrique, on se concentre sur les propriétés des interfaces et les limites locales des cartes aléatoires décorées. Le premier modèle consiste en une famille de quadrangulations aléatoires du disque décorées par un modèle de boucles $O(n)$. Après avoir complété la preuve de son diagramme de phase initiée par [BBG12c], on étudie les longueurs et la structure d'imbrication des boucles dans la phase critique non-générique. On montre que ces statistiques, décrites par un arbre étiqueté, convergent en loi vers une cascade multiplicative explicite lorsque le périmètre du disque tend vers l'infini. Le deuxième modèle consiste en une carte planaire aléatoire décorée par la percolation de Fortuin-Kasteleyn. On complète la preuve de la convergence du modèle esquissée dans [She16b] et établit un certain nombre de propriétés de la limite. Le troisième modèle est celui des triangulations aléatoires du disque décorées par le modèle d'Ising. Il est étroitement lié au modèle des quadrangulations décorées par un modèle $O(n)$ quand $n = 1$. On calcule explicitement la fonction de partition du modèle muni des conditions au bord de Dobrushin au point critique, sous une forme exploitable pour les asymptotiques. À l'aide de ces asymptotiques, on étudie le processus d'épluchage le long de l'interface d'Ising dans la limite où le périmètre du disque tend vers l'infini.

Mots-clés : Carte planaire aléatoire, modèle de boucles $O(n)$, percolation de Fortuin-Kasteleyn, modèle d'Ising, limite locale, géométrie d'interfaces.

Tristan DAGOBERT
Directeur de thèse : Jean-Michel Morel (ENS Paris-Saclay).

Évaluation d'algorithmes stéréoscopiques de haute précision en faible B/H

Soutenue le 4 décembre 2017
Université Paris Saclay

Cette thèse étudie la précision en vision stéréo, les méthodes de détection dites a contrario et en présente une application à l'imagerie satellitaire. La première partie a été réalisée dans le cadre du projet DGA-ANR-ASTRID "STÉRÉO". Son but est de définir les limites effectives des méthodes de reconstruction stéréo quand on contrôle toute la chaîne d'acquisition à la précision maximale, que l'on acquiert des paires stéréo en rapport B/H très faible et sans bruit. Pour valider ce concept, nous créons des vérités terrains très précises en utilisant un rendeur. En gardant les rayons calculés durant le rendu, nous avons une information très dense sur la scène 3D. Ainsi nous créons des cartes d'occultations, de disparités dont l'erreur de précision est inférieure à 10e-6. Nous avons mis à la disposition de la communauté de recherche des images de synthèse avec un SNR supérieur à 500 : un ensemble de 66 paires stéréo dont le B/H varie de1/2500 à 1/50. Pour évaluer les méthodes de stéréo sur ce nouveau type de données, nous proposons des métriques calculant la qualité des cartes de disparités estimées, combinant la précision et la densité des points dont l'erreur relative est inférieure à un certain seuil. Nous évaluons plusieurs algorithmes représentatifs de l'état de l'art, sur les paires créées ainsi sur les paires de Middlebury, jusqu'à leurs limites de fonctionnement. Nous confirmons par ces analyses que les hypothèses théoriques sur le bien-fondé du faible B/H en fort SNR sont valides, jusqu'à une certaine limite que nous caractérisons. Nous découvrons ainsi que de simples méthodes de flux optique pour l'appariement stéréo deviennent plus performantes que des méthodes variationnelles discrètes plus élaborées. Cette conclusion n'est toutefois valide que pour des forts rapports signal à bruit. L'exploitation des données denses nous permet de compléter les vérités terrain par une détection très précise des bords d'occultation. Nous proposons une méthode de calcul de contours vectoriels subpixéliens à partir d'un nuage de points très dense, basée sur des méthodes a contrario de classification de pixels. La seconde partie de la thèse est dédiée à une application du flot optique subpixélien et des méthodes a contrario pour détecter des nuages en imagerie satellitaire. Nous proposons une méthode qui n'exploite que l'information visible optique. Elle repose sur la redondance temporelle obtenue grâce au passage répété des satellites au-dessus des mêmes zones géographiques.

Gautier DAKIN
Directeur de thèse : Bruno Després (LJLL, IUF).

Couplage fluide-structure d'ordre (très) élevé pour des schémas volumes finis 2D Lagrange-projection

Soutenue le 9 novembre 2017
Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

Ce travail est consacré à l'étude numérique de l'interaction entre un fluide compressible et une structure indéformable, en adaptant une famille récente de schémas d'ordre très élevé à la prise en compte de conditions aux bords particulières entre le fluide et la structure. Plus précisément, on évalue l'apport de schémas d'ordre strictement supérieur à 3 par rapport à des stratégies plus classiques dans la littérature restreintes aux ordres 1 et 2. Un résultat important est qu'il est possible de réaliser le couplage à tout ordre et qu'il existe des configurations pour lesquelles on observe un gain important pour les ordres élevés. Une revue bibliographique est faite rappelant les résultats théoriques concernant les systèmes hyperboliques et décrivant les méthodes utilisées dans la littérature pour la simulation de la dynamique des gaz et la prise en compte des conditions aux bords. Un schéma sur grilles cartésiennes décalées et d'ordre très élevé est proposé pour la résolution des équations d'Euler en 1D et 2D. Ce schéma est basé sur le formalisme Lagrange-projection et bien que formulé en énergie interne assure conservation et consistance faible grâce à un correctif en énergie interne. Parallèlement, l'étude pour les systèmes hyperboliques linéaires de discrétisation à l'ordre très élevé des conditions aux bords est faite. Elle met en évidence la nécessité pour l'ordre élevé de s'intéresser à la stabilité des schémas ainsi obtenus. À partir de ces travaux, la prise en compte de conditions aux bords en vitesse normale imposée est réalisée pour les équations d'Euler en 1D et 2D. Enfin, une procédure de couplage entre fluide compressible et structure indéformable est proposée.

Ivan GORYNIN
Directeurs de thèse : Wojciech Pieczynski et Emmanuel Monfrini (Telecom Sud Paris).

Estimation bayésienne dans les modèles de Markov partiellement observés

Soutenue le 13 décembre 2017
Université Paris Saclay

Cette thèse porte sur l'estimation bayésienne d'état dans les séries temporelles modélisées à l'aide des variables latentes hybrides, c'est-à-dire dont la densité admet une composante discrète-finie et une composante continue. Des algorithmes généraux d'estimation des variables d'états dans les modèles de Markov partiellement observés à états hybrides sont proposés et comparés avec les méthodes de Monte-Carlo séquentielles sur un plan théorique et appliqué. Le résultat principal

est que ces algorithmes permettent de réduire significativement le coût de calcul par rapport aux méthodes de Monte-Carlo séquentielles classiques.

Stéphane LATHUILIÈRE
Directeur de thèse : Radu Horaud (INRIA).

Modèles profonds de regression et applications à la vision par ordinateur pour l'interaction homme-robot

Soutenue le 22 mai 2018
Laboratoire Jean Kuntzmann, Université de Grenoble

Dans le but d'interagir avec des êtres humains, les robots doivent effectuer des tâches de perception basique telles que la détection de visage, l'estimation de la pose des personnes ou la reconnaissance de la parole. Cependant, pour interagir naturellement avec les hommes, le robot doit modéliser des concepts de haut niveau tels que les tours de paroles dans un dialogue, le centre d'intérêt d'une conversion, ou les interactions entre les participants. Dans ce manuscrit, nous suivons une approche ascendante (dite "top-down"). D'une part, nous présentons deux méthodes de haut niveau qui modélisent les comportements collectifs. Ainsi, nous proposons un modèle capable de reconnaître les activités qui sont effectuées par différents groupes de personnes conjointement, tels que faire la queue, discuter. Notre approche gère le cas général où plusieurs activités peuvent se dérouler simultanément et en séquence. D'autre part, nous introduisons une nouvelle approche d'apprentissage par renforcement de réseau de neurones pour le contrôle de la direction du regard du robot. Notre approche permet à un robot d'apprendre et d'adapter sa stratégie de contrôle du regard dans le contexte de l'interaction homme-robot. Le robot est ainsi capable d'apprendre à concentrer son attention sur des groupes de personnes en utilisant seulement ses propres expériences (sans supervision extérieure). Dans un deuxième temps, nous étudions en détail les approches d'apprentissage profond pour les problèmes de régression. Les problèmes de régression sont cruciaux dans le contexte de l'interaction homme-robot afin d'obtenir des informations fiables sur les poses de la tête et du corps des personnes faisant face au robot. Par conséquent, ces contributions sont vraiment générales et peuvent être appliquées dans de nombreux contextes différents. Dans un premier temps, nous proposons de coupler un mélange gaussien de régressions inverses linéaires avec un réseau de neurones convolutionnels. Deuxièmement, nous introduisons un modèle de mélange gaussien-uniforme afin de rendre l'algorithme d'apprentissage plus robuste aux annotations bruitées. Enfin, nous effectuons une étude à grande échelle pour mesurer l'impact de plusieurs choix d'architecture et extraire des recommandations pratiques lors de l'utilisation d'approches d'apprentissage profond dans des tâches de régression. Pour chacune de ces contributions, une intense validation expérimentale a été effectuée avec des expériences en temps réel sur le robot NAO ou sur de larges et divers ensembles de données.
Mots-clés : apprentissage profond, régression, interaction homme-robot.

Simon LE STUM
Directeurs de thèse : David Coupier et David Dereudre (université Lille 1).

Existence et absence de percolation de modèles germes grains arrêtés

Soutenue le 11 décembre 2017
Université Lille 1

Dans cette thèse, nous travaillons sur les questions d'existence, puis d'absence de percolation de graphes orientés stationnaires dans l'espace euclidien. Les sommets de ces graphes sont distribués par un processus ponctuel de Poisson et chaque sommet est connecté vers un unique autre sommet par une arête orientée. On parle alors de graphe orienté "outdegree-one". La règle permettant de construire l'ensemble des arêtes définit le graphe. Le premier résultat de la thèse fournit une condition suffisante pour qu'un graphe ne contienne pas de composantes connexes infinies. Un corollaire important de ce premier résultat affirme que le graphe orienté défini par une dynamique de segments grandissants décrites par D. Daley, G. Last et S. Ebert ne percole pas. Ce modèle défini à partir de segments poussant à vitesse constante dans le plan est un exemple de dynamique germes grains. Le second chapitre de la thèse propose une définition générale du modèle germes grains dans le plan et donne une condition suffisante pour qu'un modèle germes grains fixé puisse se caractériser par un graphe orienté "outdegree-one". Ce dernier résultat nous permet d'assurer l'existence de plusieurs graphes géométriques tout à fait naturels et riches en application. Le dernier résultat de la thèse consiste en l'absence de percolation d'une dynamique de segment grandissant qui généralise le modèle préalablement cité et dont l'existence découle de notre précédent résultat.

Cédric MALHERBE
Directeur de thèse : Nicolas Vayatis (ENS Paris-Saclay).

Quelques contributions à l'optimisation globale

Soutenue le 4 novembre 2017
ENS Paris-Saclay

Ce travail de thèse s'intéresse au problème d'optimisation séquentielle d'une fonction inconnue définie sur un ensemble continu et borné. Ce type de problème apparaît notamment dans la conception de systèmes complexes, lorsque l'on cherche à optimiser le résultat de simulations numériques ou plus simplement lorsque la fonction que l'on souhaite optimiser ne présente aucune forme de régularité évidente comme la linéarité ou la convexité. Dans un premier temps, nous nous focalisons sur le cas particulier des fonctions lipschitziennes. Nous introduisons deux nouvelles stratégies ayant pour but d'optimiser n'importe quelle fonction de coefficient de Lipschitz connu puis inconnu. Ensuite, en introduisant différentes mesures de régularité, nous formulons et obtenons des résultats de consistance pour ces méthodes ainsi que des vitesses de convergence sur leurs erreurs d'approximation. Dans une seconde partie, nous nous proposons d'explorer le domaine de l'ordonnancement binaire dans le but de développer des stratégies d'optimisation pour

fonctions non régulières. En observant que l'apprentissage de la règle d'ordonnancement induite par la fonction inconnue permet l'identification systématique de son optimum, nous faisons le lien entre théorie de l'ordonnancement et théorie de l'optimisation, ce qui nous permet de développer de nouvelles méthodes reposant sur le choix de n'importe quelle technique d'ordonnancement et de formuler différents résultats de convergence pour l'optimisation de fonctions non régulières. Enfin, les stratégies d'optimisation développées au cours de la thèse sont comparées aux méthodes présentes dans l'état de l'art sur des problèmes de calibration de systèmes d'apprentissages ainsi que sur des problèmes synthétiques fréquemment rencontrés dans le domaine de l'optimisation globale.

Antoine MARCHINA
Directeur de thèse : Emmanuel Rio (université de Versailles Saint-Quentin).

Inégalités de concentration pour des fonctions de variables aléatoires indépendantes

Soutenue le 8 décembre 2017
Université Paris Saclay

Cette thèse porte sur l'étude de la concentration autour de la moyenne de fonctions de variables aléatoires indépendantes à l'aide de techniques de martingales et d'inégalités de comparaison. Dans une première partie, nous prouvons des inégalités de comparaison pour des fonctions générales séparément convexes de variables aléatoires indépendantes non nécessairement bornées. Ces résultats sont établis à partir de nouvelles inégalités de comparaison dans des classes de fonctions convexes (contenant, en particulier, les fonctions exponentielles croissantes) pour des variables aléatoires réelles uniquement dominées stochastiquement. Dans la seconde partie, nous nous intéressons aux suprema de processus empiriques associés à des observations i.i.d. Le point clé de cette partie est un résultat d'échangeabilité des variables. Nous montrons d'abord des inégalités de type Fuk-Nagaev avec constantes explicites lorsque les fonctions de la classe ne sont pas bornées. Ensuite, nous prouvons de nouvelles inégalités de déviation avec une meilleure fonction de taux dans les bandes de grandes déviations dans le cas des classes de fonctions uniformément bornées. Nous donnons également des inégalités de comparaison de moments généralisés dans les cas uniformément borné et uniformément majoré. Enfin, les résultats de la première partie nous permettent d'obtenir une inégalité de concentration lorsque les fonctions de la classe ont une variance infinie.

Gustaw MATULEWICZ
Directeurs de thèse : Emmanuel Gobet et Stéphane Gaïffas (École polytechnique).

Inférence statistique de processus d'Ornstein-Uhlenbeck : génération de graphes stochastiques, sparsité, applications en finance

Soutenue le 15 décembre 2017
Université Paris Saclay

Le sujet de cette thèse est l'inférence statistique de processus d'Ornstein-Uhlenbeck multi-dimensionnels. Dans une première partie, nous introduisons un modèle de graphes stochastiques définis comme observations binaires de trajectoires. Nous montrons alors qu'il est possible de déduire la dynamique de la trajectoire sous-jacente à partir des observations binaires. Pour ceci, nous construisons des statistiques à partir du graphe et montrons de nouvelles propriétés de convergence dans le cadre d'une observation en temps long et en haute fréquence. Nous analysons aussi les propriétés des graphes stochastiques du point de vue des réseaux évolutifs. Dans une deuxième partie, nous travaillons sous l'hypothèse d'information complète et en temps continu et ajoutons une hypothèse de sparsité concernant le paramètre de textitdrift du processus d'Ornstein-Uhlenbeck. Nous montrons alors des propriétés d'oracle pointues de l'estimateur Lasso, prouvons une borne inférieure sur l'erreur d'estimation au sens minimax et démontrons des propriétés d'optimalité asymptotique de l'estimateur Lasso Adaptatif. Nous appliquons ensuite ces méthodes pour estimer la vitesse de retour à la moyenne des retours journaliers d'actions américaines ainsi que des prix de futures de dividendes pour l'indice EURO STOXX 50.

Jiali MEI
Directeurs de thèse : Yohann de Castro (université Paris Sud) et Georges Hébrail (EDF Lab Paris Saclay).

Reconstitution et prédiction de séries temporelles avec la factorisation de matrice nonnégative augmentée de régression appliquée à la consommation électrique

Soutenue le 20 décembre 2018
Université Paris Saclay

Nous sommes intéressé par la reconstitution et la prédiction des séries temporelles multivariées à partir des données partiellement observées et/ou agrégées. La motivation du problème vient des applications dans la gestion du réseau électrique. Nous envisageons des outils capables de résoudre le problème d'estimation de plusieurs domaines. Après investiguer le krigeage, qui est une méthode de la littérature de la statistique spatio-temporelle, et une méthode hybride basée sur le clustering des individus, nous proposons un cadre général de reconstitution et de prédiction basé sur la factorisation de matrice nonnégative. Ce cadre prend en compte de

manière intrinsèque la corrélation entre les séries temporelles pour réduire drastiquement la dimension de l'espace de paramètres. Une fois que la problématique est formalisée dans ce cadre, nous proposons deux extensions par rapport à l'approche standard. La première extension prend en compte l'autocorrélation temporelle des individus. Cette information supplémentaire permet d'améliorer la précision de la reconstitution. La deuxième extension ajoute une composante de régression dans la factorisation de matrice nonnégative. Celle-ci nous permet d'utiliser dans l'estimation du modèle des variables exogènes liées avec la consommation électrique, ainsi de produire des facteurs plus interprétatbles, et aussi améliorer la reconstitution. De plus, cette méthode nous donne la possibilité d'utiliser la factorisation de matrice nonnégative pour produire des prédictions. Sur le côté théorique, nous nous intéressons à l'identifiabilité du modèle, ainsi qu'à la propriété de la convergence des algorithmes que nous proposons. La performance des méthodes proposées en reconstitution et en prédiction est testée sur plusieurs jeux de données de consommation électrique à niveaux d'agrégation différents.

Roberto MOLINA

Directeur de thèse : François-Xavier Roux (Sorbonne université).

Hybridization of FETI methods

Soutenue le 19 décembre 2017

Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

In the domain decomposition framework, classic non-overlapping methods such as FETI and its variations are often used in industrial applications due to better performance and properties shown by them. Several improvements have been developed in order to achieve these good results. Following this line of work we present new methods based on FETI and new implementations of the recently developed S-FETI method.

The classics FETI-1LM and FETI-2LM methods are used to build a new hybrid FETI method as a fusion of both of them. These methods differ from one another in the boundary condition imposed on the interface. The basic idea is to develop a new algorithm that can use both methods at the same time by choosing in each interface the most suited condition depending on the characteristics of the problem. We search to have a faster and more robust code that can work with configurations that the base methods will not handle optimally by themselves. The performance of this method is tested on a problem with a contact surface, where most of the numerical issues are focused.

In the following part, we present a new implementation for the S-FETI method. As seen in the original presentation, the full reorthogonalization needed by S-FETI, and all FETI methods in general, impose the storage of all the directions created, making the memory cost somehow a relevant issue. The objective is to reduce the memory usage of this method, allowing this method to work on larger problems. We achieve this by using the sparsity properties of the search directions. We also propose other variations to lower the storage, but this time by reducing the directions saved at each iteration. Finally, an extension of the FETI-2LM method to his block version as in S-FETI is developed. Numerical results for the different

algorithms are presented.

Rémi PELLEREJ
Directeurs de thèse : Arthur Vidard et Florian Lamarie (INRIA).

Étude et développement d'algorithmes d'assimilation de données variationnelle adaptés aux modèles couplés océan-atmosphère

Soutenue le 26 mars 2018
Laboratoire Jean Kuntzmann, Université de Grenoble

La qualité des prévisions météorologiques repose principalement sur la qualité du modèle utilisé et de son état initial. Cet état initial est reconstitué en combinant les informations provenant du modèle et des observations disponibles en utilisant des techniques d'assimilation de données. Historiquement, les prévisions et l'assimilation sont réalisées dans l'atmosphère et l'océan de manière découplée. Cependant, les centres opérationnels développent et utilisent de plus en plus des modèles couplés océan-atmosphère. Or, assimiler des données de manière découplée n'est pas satisfaisant pour des systèmes couplés. En effet, l'état initial ainsi obtenu présente des inconsistances de flux à l'interface entre les milieux, engendrant des erreurs de prévision. Il y a donc besoin d'adapter les méthodes d'assimilation aux systèmes couplés. Ces travaux de thèse s'inscrivent dans ce contexte et ont été effectués dans le cadre du projet FP7 ERA-Clim2, visant à produire une réanalyse globale du système terrestre. Dans une première partie, nous introduisons les notions d'assimilation de données, de couplage et les différentes méthodologies existantes appliquées au problème de l'assimilation couplée. Ces méthodologies n'étant pas satisfaisantes en terme de qualité de couplage ou de coût de calcul, nous proposons, dans une seconde partie, des méthodes alternatives. Nous faisons le choix de méthodes d'assimilation basées sur la théorie du contrôle optimal. Ces alternatives se distinguent alors par le choix de la fonction coût à minimiser, des variables contrôlées et de l'algorithme de couplage utilisé. Une étude théorique de ces algorithmes a permis de déterminer un critère nécessaire et suffisant de convergence dans un cadre linéaire. Pour conclure cette seconde partie, les performances des différentes méthodes introduites sont évaluées en terme de qualité de l'analyse produite et de coût de calcul à l'aide d'un modèle couplé linéaire 1D. Dans une troisième et dernière partie, un modèle couplé non-linéaire 1D incluant des paramétrisations physiques a été développé et implémenté dans OOPS (*Object-Oriented Prediction System*) qui est une surcouche logicielle permettant la mise en œuvre d'un ensemble d'algorithmes d'assimilation de données. Nous avons alors pu évaluer la robustesse de nos algorithmes dans un cadre plus réaliste, et conclure sur leurs performances vis-à-vis de méthodes existantes. Le fait d'avoir développé nos méthodes dans le cadre de OOPS devrait permettre à l'avenir de les appliquer aisément à des modèles réalistes de prévision. Nous exposons enfin quelques perspectives d'amélioration de ces algorithmes.
Mots-clés : Assimilation de données, modèles couplés, algorithmes de Schwarz, contrôle optimal.

Chaoyu QUAN
Directeurs de thèse : Yvon Maday (Sorbonne université), Benjamin Stamm (Aachen University).

Mathematical methods for implicit solvation models in quantum chemistry

Soutenue le 21 novembre 2017
Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

Cette thèse est consacrée à étudier et à améliorer les modèles mathématiques et les méthodes utilisées pour les modèles de solvatation implicite en chimie quantique. Ce manuscrit est composé de deux parties. Dans la première partie où nous analysons l'interface soluté-solvant, nous donnons, pour la première fois, une caractérisation complète de la surface moléculaire "lisse", c'est-à-dire la surface exclue du solvant (SES). À partie de cette caractérisation, nous développons un algorithme de maillage par morceaux pour les surfaces moléculaires différentes, en particulier pour la SES, en utilisant la triangulation à front avançant. De plus, la cavité de la SES (la région entourée par la SES) est une description plus précise de la cavité de soluté. Dans la deuxième partie, nous construisons donc un modèle de continuum polarisable basé (PCM) sur la SES, dans lequel le paramètre de permittivité diélectrique est continu. Le problème électrostatique de ce modèle consiste à résoudre une équation de Poisson définie sur $\mathbb{R}^3$. Nous développons ensuite une méthode de Schwarz particulière, où seules les équations locales restreintes à des boules doivent être résolues. Enfin, nous étudions le modèle de solvatation de Poisson-Boltzmann, un autre modèle de solvatation implicite, qui tient compte à la fois de la permittivité diélectrique et de la force ionique du solvant. Une méthode de Schwarz similaire est proposée pour résoudre l'équation de Poisson-Boltzmann associée en résolvant des équations locales restreintes aux boules comme pour le PCM basé sur la SES.

Arnaud RECOQUILLAY
Directeur de thèse : Laurent Bourgeois (ENSTA ParisTech).

Méthodes d'échantillonnage appliquées à l'imagerie de défauts dans un guide d'ondes élastiques

Soutenue le 16 janvier 2018
Université Paris Saclay

De nombreuses structures utilisées industriellement peuvent être considérées comme des guides d'ondes, comme les plaques, les tuyaux ou encore le rails. La maintenance de ces structures nécessite de pouvoir détecter efficacement des défauts internes par le Contrôle Non Destructif. Nous nous intéressons dans ce manuscrit à l'application d'une méthode d'échantillonnage, la Linear Sampling Method, au CND des guides d'ondes élastiques, qui en particulier impose des sollicitations et des mesures à la surface du guide en régime temporel. La stratégie choisie re-

pose sur une formulation modale et multi-fréquentielle de la LSM, spécifique aux guides d'ondes, qui permet une régularisation efficace et de nature physique du problème inverse, qui est par nature mal posé. Cette stratégie permet par ailleurs une optimisation du nombre et de la position des émetteurs et des récepteurs. Nous nous limitons dans un premier temps au cas scalaire du guide d'ondes acoustiques, pour ensuite s'attaquer au cas vectoriel, et par conséquent plus complexe, du guide d'ondes élastiques. L'efficacité de la méthode inverse est dans un premier temps démontrée sur des données artificielles (obtenues numériquement), puis sur des données réelles obtenues à l'aide d'expériences réalisées sur des plaques métalliques. Ces expériences confirment la faisabilité du CND par méthode d'échantillonnage dans un cadre industriel. Dans le cas où une seule sollicitation est réalisée, l'utilisation de la LSM est exclu. Nous utilisons une approche tout à fait différente et dite "extérieure", couplant une formulation mixte de quasi-réversibilité et une méthode de lignes de niveau, pour reconstruire le défaut.

Luigia RIPANI

Directeurs de thèse : Ivan Gentil (université Lyon 1), Christian Léonard (université Paris Nanterre).

Le problème de Schrödinger et ses liens avec transport optimal et inégalités fonctionnelles

Soutenue le 6 décembre 2017

Université Lyon 1

Au cours des 20 dernières années, la théorie du transport optimal s'est révélée être un outil efficace pour étudier le comportement asymptotique dans le cas des équations de diffusion, pour prouver des inégalités fonctionnelles et pour étendre des propriétés géométriques dans des espaces extrêmement généraux comme des espaces métriques mesurés, etc. La condition de courbure-dimension de la théorie Bakry-Emery apparaît comme la pierre angulaire de ces applications. Il suffit de penser au cas le plus simple et le plus important de la distance quadratique de Wasserstein W_2 : la contraction du flux de chaleur en W_2 caractérise les bornes inférieures uniformes pour la courbure de Ricci ; l'inégalité de Talagrand du transport, comparant W_2 à l'entropie relative est impliqué et implique, par l'inégalité HWI, l'inégalité log-Sobolev ; les géodésiques de McCann dans l'espace de Wasserstein $(\mathcal{P}_2(\mathbb{R}^n), W_2)$ permettent de prouver des propriétés fonctionnelles importantes comme la convexité, et des inégalités fonctionnelles standards telles que l'isopérimétrie, des propriétés de concentration de mesure, l'inégalité de Prékopa-Leindler et ainsi de suite. Néanmoins, le manque de régularité des plans optimaux nécessite des arguments d'analyse non lisse.

Le problème de Schrödinger est un problème de minimisation de l'entropie avec des contraintes marginales et un processus de référence fixes. À partir de la théorie des grandes déviations, lorsque le processus de référence est le mouvement brownien, sa valeur minimale $\mathcal{A}$ converge vers W_2 lorsque la température est nulle. Les interpolations entropiques, solutions du problème de Schrödinger, sont caractérisées en termes de semigroupes de Markov, ce qui implique naturellement les calculs Γ_2

et la condition de courbure-dimension. Datant des années 1930 et négligé pendant des décennies, le problème de Schrödinger connaît depuis ces dernières années une popularité croissante dans différents domaines, grâce à sa relation avec le transport optimal, à la regularité de ses solutions, et à d'autres propriétés performantes dans des calculs numériques.
Le but de ce travail est double. D'abord, nous étudions certaines analogies entre le problème de Schrödinger et le transport optimal fournissant de nouvelles preuves de la formulation duale de Kantorovich et de celle, dynamique, de Benamou-Brenier pour le coût entropique $\mathcal{A}$. Puis, en tant qu'application de ces connexions, nous dérivons certaines propriétés et inégalités fonctionnelles sous des conditions de courbure-dimension. En particulier, nous prouvons la concavité de l'entropie exponentielle le long des interpolations entropiques sous la condition de courbure-dimension $CD(0, n)$ et la régularité du coût entropique le long du flot de la chaleur. Nous donnons également différentes preuves de l'inégalité variationnelle évolutionnaire pour $\mathcal{A}$ et de la contraction du flux de la chaleur en $\mathcal{A}$, en retrouvant comme cas limite les résultats classiques en W_2, sous $CD(\kappa, \infty)$ et $CD(0, n)$. Enfin, nous proposons une preuve simple de la propriété de concentration gaussienne via le problème de Schrödinger comme alternative aux arguments classiques tel que l'argument de Marton basé sur le transport optimal.

Carlos ROMÁN
Directeurs de thèse : Etienne Sandier (université Paris-Est) et Sylvia Serfaty (Sorbonne université).

Analysis of singularities in elliptic equations : the Ginzburg-Landau model of superconductivity, the Lin-Ni-Takagi problem, the Keller-Segel model of chemotaxis, and conformal geometry

Soutenue le 15 décembre 2017
Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

This thesis is devoted to the analysis of singularities in nonlinear elliptic partial differential equations arising in mathematical physics, mathematical biology, and conformal geometry. The topics treated are the 3D Ginzburg-Landau model of superconductivity, the Lin-Ni-Takagi problem, the Keller-Segel model of chemotaxis, and the prescribed scalar curvature problem.
The Ginzburg-Landau model is a phenomenological description of superconductivity. An essential feature of type-II superconductors is the occurrence of vortices, which appear above a certain value of the strength of the applied magnetic field called the first critical field. We are interested in the regime of small ε, where ε is the inverse of the Ginzburg-Landau parameter (a material constant). In this regime, the vortices are at main order co-dimension 2 topological singularities. We provide a quantitative three-dimensional vortex approximation construction for the Ginzburg-Landau energy, which gives an approximation of vortex lines coupled to a lower bound for the energy, that is optimal to leading order and valid at the ε-level. By using these tools we then analyze the behavior of global minimizers below and near the first critical field. We show that below this critical value

minimizers of the Ginzburg-Landau energy are vortexless configurations, and that near this value minimizers have bounded vorticity.
The Lin-Ni-Takagi problem arises as the shadow of the Gierer-Meinhardt system of reaction-diffusion equations that models biological pattern formation. This problem is that of finding positive solutions of a critical equation in a bounded smooth three-dimensional domain, under zero Neumann boundary conditions. In this thesis, we construct solutions to this problem exhibiting single bubbling behavior at one point of the domain, as a certain parameter converges to a critical value.
Chemotaxis is the influence of chemical substances in an environment on the movement of organisms. The Keller-Segel model for chemotaxis is an advection-diffusion system consisting of two coupled parabolic equations. Here, we are interested in radial steady states of this system. We are then led to study a critical equation in the two-dimensional unit ball, under zero Neumann boundary conditions. In this thesis, we construct several families of radial solutions which blow up at the origin of the ball and concentrate on the boundary and/or an interior sphere, as a certain parameter converges to zero.
Finally, we study the prescribed scalar curvature problem. Given an n-dimensional compact Riemannian manifold, we are interested in finding bubbling metrics whose scalar curvature is a prescribed function, depending on a small parameter. We assume that this function has a critical point which satisfies a suitable flatness assumption. We construct several metrics, which blow-up as the parameter goes to zero, with prescribed scalar curvature.

Samir SALEM
Directeur de thèse : Maxime Hauray (université Aix-Marseille).

Limite de champ moyen et propagation du chaos pour des systèmes de particules avec interaction discontinue

Soutenue le 24 octobre 2017
Université Aix-Marseille

Dans cette thèse, on étudie des problèmes de propagation du chaos et de limite de champ moyen pour des modèles relatant le comportement collectif d'individus ou de particules. Particulièrement, on se place dans des cas où l'interaction entre ces individus/particules est discontinue. Le premier travail établit la propagation du chaos pour l'équation de Vlasov-Poisson-Fokker-Planck 1D. Plus précisément, on montre que la distribution des particules évoluant sur la droite des réels interagissant via la fonction signe, converge vers la solution de l'équation de VPFP 1d, en probabilité par des techniques de type grandes déviations, et en espérance par des techniques de loi des grands nombres. Dans le second travail, on étudie une variante du modèle de Cucker-Smale, où le noyau de communication est l'indicatrice d'un cône dont l'orientation dépend de la vitesse de l'individu. Une estimation de stabilité fort-faible en distance de M.K.W. est obtenue, qui implique la limite de champ moyen. Le troisième travail a consisté à introduire de la diffusion en vitesse dans le modèle précédemment cité. Cependant, il faut ajouter une diffusion tronquée afin de préserver un système dans lequel les vitesses restent uniformément bornées. Finalement, on étudie une variante de l'équation d'agrégation où

l'interaction entre individus est donnée par un cône dont l'orientation dépend de la position de l'individu. Dans ce cas on peut seulement donner une estimation de stabilité fort-faible en distance W^∞, et le modèle doit être posé dans un domaine borné dans le cas avec diffusion.
Mots-clés : Propagation du chaos, limite de champ moyen, distance de Wasserstein, contrainte de vision géométrique, estimation de déviation.

Guillaume SALL
Directeurs de thèse : Gilles Pagès et Olivier Pironneau (Sorbonne université), Youssef Allaoui et Laurent Marcoux (Global Market Solutions).

Quelques algorithmes rapides pour la finance quantitative

Soutenue le 21 décembre 2017
Sorbonne Université

Dans cette thèse, nous nous intéressons à des noeuds critiques du calcul du risque de contrepartie, la valorisation rapide des produits dérivées et de leurs sensibilités. Nous proposons plusieurs méthodes mathématiques et informatiques pour répondre à cette problématique. Nous contribuons à quatre domaines différents : une extension de la méthode Vibrato et l'application des méthodes multilevel Monte Carlo pour le calcul des grecques à ordre élevé ($n \geq 1$) avec une technique de différentiation automatique. La troisième contribution concerne l'évaluation des produits Américain, ici nous nous servons d'un schéma pararéel pour l'accélération du processus de valorisation et nous faisons également une application pour la résolution d'une équation différentielle stochastique rétrograde. La quatrième contribution est la conception d'un moteur de calcul performant à architecture parallèle.

Mehdi SEBBAR
Directeur de thèse : Arnak Dalalyan (ENSAE / CREST, GENES).

Sur l'apprentissage non supervisé en haute dimension

Soutenue le 12 décembre 2017
Université Paris Saclay

Dans ce mémoire de thèse, nous abordons deux thèmes, le clustering en haute dimension d'une part et l'estimation de densités de mélange d'autre part. Le premier chapitre est une introduction au clustering. Nous y présentons différentes méthodes répandues et nous nous concentrons sur un des principaux modèles de notre travail qui est le mélange de gaussiennes. Nous abordons aussi les problèmes inhérents à l'estimation en haute dimension et la difficulté d'estimer le nombre de clusters. Nous exposons brièvement ici les notions abordées dans ce manuscrit. Considérons une loi mélange de K gaussiennes dans R^p. Une des approches courantes pour estimer les paramètres du mélange est d'utiliser l'estimateur du maximum de vraisemblance. Ce problème n'étant pas convexe, on ne peut garantir la

convergence des méthodes classiques. Cependant, en exploitant la biconvexité de la log-vraisemblance négative, on peut utiliser la procédure itérative 'Expectation-Maximization' (EM). Malheureusement, cette méthode n'est pas bien adaptée pour relever les défis posés par la grande dimension. Par ailleurs, cette méthode requiert de connaître le nombre de clusters. Le Chapitre 2 présente trois méthodes que nous avons développées pour tenter de résoudre les problèmes décrits précédemment. Les travaux qui y sont exposés n'ont pas fait l'objet de recherches approfondies pour diverses raisons. La première méthode, 'lasso graphique sur des mélanges de gaussiennes', consiste à estimer les matrices inverses des matrices de covariance dans l'hypothèse où celles-ci sont parcimonieuses. Nous adaptons la méthode du lasso graphique de [Friedman et al., 2007] sur une composante dans le cas d'un mélange et nous évaluons expérimentalement cette méthode. Les deux autres méthodes abordent le problème d'estimation du nombre de clusters dans le mélange. La première est une estimation pénalisée de la matrice des probabilités postérieures dont la composante (i, j) est la probabilité que la i-ème observation soit dans le j-ème cluster. Malheureusement, cette méthode s'est avérée trop coûteuse en complexité. Enfin, la deuxième méthode considérée consiste à pénaliser le vecteur de poids afin de le rendre parcimonieux. Cette méthode montre des résultats prometteurs. Dans le chapitre 3, nous étudions l'estimateur du maximum de vraisemblance d'une densité de n observations i.i.d. sous l'hypothèse qu'elle est bien approximée par un mélange de plusieurs densités données.

Sara TFAILI

Directeurs de thèse : Adnan Yassine (université du Havre) et Abdelkader Sbihi (EM Normandie).

Contribution aux graphes creux pour le problème de tournées sur arcs déterministe et robustes : théorie et algorithmes

Soutenue le 1er décembre 2017

Université du Havre

Cette thèse comporte deux parties majeures : la première partie est dédiée à l'étude du problème sparse CARP déterministe où nous avons développé une transformation du sparse CARP en un sparse CVRP. La seconde est consacrée au problème sparse CARP avec coûts sous incertitude. Nous avons donné une formulation mathématique du problème en min-max. Cette modélisation a permis d'identifier le pire scénario pour le problème robuste. Deux approches algorithmiques ont été proposées pour une résolution approchée.

Eliott TIXIER
Directeurs de thèse : Jean-Frédéric Gerbeau et Damiano Lombardi (INRIA, LJLL).

Modélisation de la variabilité et design de biomarqueurs numériques en électrophysiologie cardiaque

Soutenue le 18 décembre 2017
Lab. Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université

Cette thèse de doctorat est consacrée à l'étude de la variabilité observée dans les mesures d'électrophysiologie (i.e. l'activité électrique des tissus biologiques) cardiaque et à la conception de biomarqueurs numériques extraits de ces mesures. Les applications potentielles sont nombreuses, pouvant aller d'une meilleure compréhension des modèles électrophysiologiques existants à l'évaluations des effets nocifs de médicaments en passant par le diagnostic de pathologies cardiaques. Les modèles d'électrophysiologie cardiaque présentés dans ce travail sont, soit des équations différentielles ordinaires (EDOs), soit des équations aux dérivées partielles (EDPs), selon qu'ils concernent l'échelle cellulaire ou l'échelle du tissu. Dans les deux cas, ces modèles sont hautement non linéaires et nécessitent d'intenses ressources computationnelles. Nous adoptons l'approche suivante : de prime abord, nous développons des outils numériques afin de répondre à des problèmes généraux, au-delà de l'électrophysiologie. Puis, nous appliquons ces outils à des mesures synthétiques d'électrophysiologie dans différents scénarios réalistes et, lorsque cela est possible, à des mesures expérimentales. Dans la première partie de cette thèse, nous présentons une méthode générale pour estimer la densité de probabilité de paramètres incertains de modèles basés sur des EDOs ou des EDPs. La méthode est non intrusive et repose sur des évaluations "hors-ligne" du modèle direct, ce qui la rend en pratique computationellement moins dispendieuse que d'autres approches plus sophistiquées. La méthode est illustrée avec des mesures synthétiques et expérimentales d'électrophysiologie. Dans la seconde partie de cette thèse, nous présentons une méthode de sélectionde biomarqueurs à partir des sorties de modèles en vue d'effectuer des tâches de classification ou de résoudre des problèmes d'estimation de paramètres. La méthode repose sur la résolution d'un problème d'optimisation creux. La méthode est illustrée avec des modèles simples et ensuite appliquée à des mesures synthétiques, incluant des enregistrements d'électrocardiogramme, et à des données expérimentales obtenues à partir de mesures de matrices de microélectrodes.

Yann VASSEUR
Directeurs de thèse : Gilles Celeux (INRIA Saclay) et Marie-Laure Martin-Magniette (INRA, AgroParisTech).

Inférence de réseaux de régulation orientés pour les facteurs de transcription d'Arabidopsis thaliana et création de groupes de co-régulation

Soutenue le 8 décembre 2017
Université Paris Saclay

Dans cette thèse, nous cherchons à caractériser les facteurs de transcription de la plante Arabidopsis thaliana, gènes importants pour la régulation de l'expression du génome. À l'aide de données d'expression, notre objectif biologique est de classer ces facteurs de transcription en groupes de gènes co-régulateurs et en groupes de gènes co-régulés. Nous procédons en deux phases pour y parvenir. La première phase consiste à construire un réseau de régulation entre les facteurs de transcription. La seconde phase consiste en la classification des facteurs de transcription selon les liens de régulation établis par ce réseau. D'un point de vue statistique, les facteurs de transcription sont les variables et les données d'expression sont les observations. Nous représentons le réseau à inférer par un graphe orienté dont les nœuds sont les variables. L'estimation de ses arêtes est vue comme un problème de sélection de variables en grande dimension avec un faible nombre d'unités statistiques. Nous traitons ce problème à l'aide de régressions linéaires pénalisées de type LASSO. Une approche préliminaire qui consiste à sélectionner un ensemble de variables du chemin de régularisation par le biais de critères de vraisemblance pénalisée s'avère être instable et fournit trop de variables explicatives. Pour contrecarrer cela, nous proposons et mettons en compétition deux procédures de sélection, adaptées au problème de la haute dimension et mêlant régression linéaire pénalisée et rééchantillonnage. L'estimation des différents paramètres de ces procédures a été effectuée dans le but d'obtenir des ensembles de variables stables. Nous évaluons la stabilité des résultats à l'aide de jeux de données simulés selon notre modèle graphique. Nous faisons appel ensuite à une méthode de classification non supervisée sur chacun des graphes orientés obtenus pour former des groupes de nœuds vus comme contrôleurs et des groupes de nœuds vus comme contrôlés. Pour évaluer la proximité entre les classifications doubles des nœuds obtenus sur différents graphes, nous avons développé un indice de comparaison de couples de partition dont nous éprouvons et promouvons la pertinence. D'un point de vue pratique, nous proposons une méthode de simulation en cascade, exigée par la complexité de notre modèle et inspirée du bootstrap paramétrique, pour simuler des jeux de données en accord avec notre modèle. Nous avons validé notre modèle en évaluant la proximité des classifications obtenues par application de la procédure statistique sur les données réelles et sur ces données simulées.

Gautier VIAUD
Directeur de thèse : Paul-Henry Cournède (Digiplante, Paris Saclay).

Méthodes statistiques pour la différenciation génotypique des plantes à l'aide des modèles de croissance

Soutenue le 22 janvier 2018
Université Paris Saclay

Les modèles de croissance de plantes peuvent être utilisés afin de prédire des quantités d'intérêt ou évaluer la variabilité génotypique au sein d'une population de plantes ; ce double usage est mis en évidence au sein de ce travail. Trois modèles de plantes sont ainsi considérés (LNAS pour la betterave et le blé, GreenLab pour Arabidopsis thaliana) au sein du cadre mathématique des modèles à espace d'états généraux. Une nouvelle plate-forme de calcul générique pour la modélisation et l'inférence statistique (ADJUSTIN') a été développée en Julia, permettant la simulation des modèles de croissance de plantes considérés ainsi que l'utilisation de techniques d'estimation de pointe telles que les méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov ou de Monte Carlo séquentielles.L'inférence statistique au sein des modèles de croissance de plantes étant de première importance pour des applications concrètes telles que la prédiction de rendement, les méthodes d'estimation de paramètres et d'états au sein de modèles à espaces d'états et dans un cadre bayésien furent tout d'abord étudiées, et plusieurs cas d'étude pour les plantes considérées sont analysés pour le cas d'une plante individuelle.La caractérisation de la variabilité au sein d'une population de plantes est envisagée à travers les distributions des paramètres de population au sein de modèles hiérarchiques bayésiens. Cette approche requérant l'acquisition de nombreuses données pour chaque individu, un algorithme de segmentation-suivi pour l'analyse d'images d'Arabidopsis thaliana, obtenues grâce au Phénoscope, une plate-forme de phénotypage à haut rendement de l'INRA Versailles, est proposé. Finalement, l'intérêt de l'utilisation des modèles hiérarchiques bayésiens pour la mise en évidence de la variabilité au sein d'une population de plantes est discutée. D'abord par l'étude de différents scénarios sur des données simulées, et enfin en utilisant les données expérimentales obtenues à partir de l'analyse d'images pour une population d'Arabidopsis thaliana comprenant 48 individus.

Annonces de Colloques

par Thomas HABERKORN

Juillet 2018

ISMP 2018 : 23rd International Symposium on Mathematical Programming
du 1er au 6 Juillet 2018, à Bordeaux
http://ismp2018.sciencesconf.org

13th International Conference in Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo in Scientific Computing (MCQMC 2018)
du 1er au 6 Juillet 2018, à Rennes
http://mcqmc2018.inria.fr

BNPSI 2018 - Workshop on Bayesian Nonparametrics in signal and image processing
du 2 au 4 Juillet 2018, à Bordeaux
https://bnpsi2018.sciencesconf.org/

Numerical Analysis and Scientific Computing with Applications (NASCA18)
du 2 au 6 Juillet 2018, à Kalamata (Grèce)
http://nasca18.math.uoa.gr/

Ecole de recherche en mathématiques pour l'énergie nucléaire
du 2 au 6 Juillet 2018, à Roscoff
https://www.lebesgue.fr/fr/content/sem2018-ModAN

LMS Research School "The mathematics of multiscale biology"
du 2 au 6 Juillet 2018, à Nottingham (Royaume-Uni)
http://www.multiscalebiology.org.uk/lms-multiscale-school/

Workshop "Asymptotic approach to spatial and dynamical organizations"
du 4 au 6 Juillet 2018, à Paris
https://indico.math.cnrs.fr/event/3288/

Journée "EDP et applications aux modèles biologiques"
le 5 Juillet 2018, au Havre
http://guillaumecantin.pythonanywhere.com/journeedoctorants/

Mathematical perspectives in the biology and therapeutics of cancer
du 9 au 13 Juillet 2018, au CIRM (Marseille)
https://mathscancer.sciencesconf.org/

CEMRACS 2018 : Numerical and mathematical modeling for biological and medical applications : deterministic, probabilistic and statistical descriptions
du 16 Juillet au 24 Août 2018, à Marseille
http://smai.emath.fr/cemracs/cemracs18/

11th European Conference on Mathematical and Theoretical Biology (ECMTB 2018)
du 23 au 27 Juillet 2018, à Lisbonne (Portugal)
http://www.ecmtb2018.org

Août 2018

International Congress of Mathematicians 2018 (ICM 2018)
du 1er au 9 Août 2018, à Rio (Brésil)
http://www.icm2018.org/portal/en/home/

Lluís Santaló Summer School 2018 "Interactions between PDE and probability"
du 13 au 17 Août 2018, à Santander (Espagne)
http://canizo.org/Santander2018

Grands réseaux aléatoires et marches contraintes - Conférence en l'honneur du 75ème anniversaire de Guy Fayolle
les 27 et 28 Août 2018, à Dijon
www.lmpt.univ-tours.fr/ConferenceGuyFayolle75/

Journées MAS 2018 sur le thème "Processus et échantillonnage"
du 29 au 31 Août 2018, à Dijon
http://mas2018.math.cnrs.fr/

Septembre 2018

Conférence "Deep Learning : de la théorie aux applications"
du 4 au 6 Septembre 2018, à Rennes
https://www.lebesgue.fr/fr/content/sem2018-deeplearning

Fifth workshop on thin structures
du 13 au 15 Septembre 2018, à Naples (Italie)
http://pages.unicas.it/fifth-workshop-on-thin-structures/

Workshop "Advances in Computational Statistical Physics"
du 17 au 21 Septembre 2018, au CIRM (Marseille)
https://conferences.cirm-math.fr/1866.html

2018 Clay Research Conference
du 24 au 26 Septembre 2018, à Oxford (Royaume-Uni)
http://www.claymath.org/events/cmi-20

Colloque National d'Assimilation de Données (CNA)
du 26 au 28 Septembre 2018, à Rennes
https://www.lebesgue.fr/fr/content/sem2018-datassim

Octobre 2018

Workshop "Topics in Nonlinear Analysis : Calculus of Variations and PDEs"
du 10 au 12 Octobre 2018, à Lisbonne (Portugal)
https://sites.google.com/view/cvpdelisboa/home

Workshop "Kinetic and transport equations : mathematical advances and applications"
du 10 au 12 Octobre 2018, à Parme (Italie)
http://silicio.math.unifi.it/wordpress/kte2018/

Algebraic groups : Geometry, Actions and Structures
du 29 Octobre au 2 Novembre 2018, à Lyon
https://indico.math.cnrs.fr/event/2919/

Juillet 2019

The first Joint Meeting Brazil - France in Mathematics
du 15 au 19 Juillet 2019, à Rio de Janeiro (Brésil)
http://www.sbm.org.br/jointmeeting-france

CORRESPONDANTS LOCAUX

Amiens *Marion Darbas*
LAMFA
Univ. de Picardie Jules Verne
33 rue Saint Leu
80039 Amiens CEDEX 01
☎ 03 22 82 75 16
Marion.Darbas@u-picardie.fr

Angers *Frédéric Proïa*
LAREMA
Univ. d'Angers
2 bd Lavoisier
49045 Angers CEDEX 01
☎ 02 41 73 50 28 – 🖷 02 41 73 54 54
frederic.proia@univ-angers.fr

Antilles-Guyane *Célia Jean-Alexis*
Univ. des Antilles et de la Guyane
Campus de Fouillole - BP 250
97157 Pointe-à-Pitre Cedex
☎ (590) 590 48 30 88 🖷 (590) 590 48 30 86
celia.jean-alexis@univ-ag.fr

Avignon *Alberto Seeger*
Dépt de Mathématiques
Univ. d'Avignon
33 rue Louis Pasteur
84000 Avignon
☎ 04 90 14 44 93 – 🖷 04 9014 44 19
alberto.seeger@univ-avignon.fr

Belfort *Michel Lenczner*
Lab. Mécatronique 3M
Univ. de Technologie de Belfort-Montbelliard
90010 Belfort CEDEX
☎ 03 84 58 35 34 – 🖷 03 84 58 31 46
Michel.Lenczner@utbm.fr

Bordeaux *Lisl Weynans*
Institut de Mathématiques
Univ. Bordeaux I
351 cours de la Libération - Bât. A33
33405 Talence CEDEX
☎ 05 40 00 35 36
lisl.weynans@math.u-bordeaux1.fr

Brest *Piernicola Bettiol*
Laboratoire de Mathématiques de Bretagne Atlantique,
Université Bretagne-Sud,
6 avenue Le Gorgeu, CS 93837,
29238 BREST cedex 3
☎ 02 98 01 73 86 - 🖷02 98 01 61 75
Piernicola.Bettiol@univ-brest.fr

Caen *Leonardo Baffico*
Groupe de Mécanique, Modélisation Mathématique et Numérique
Lab. Nicolas Oresme
Univ. de Caen, BP 5186
14032 Caen CEDEX
☎ 02 31 56 74 80 – 🖷 02 31 56 73 20
leonardo.baffico@unicaen.fr

Calais *Carole Rosier*
LMPA
Centre Universitaire de la Mi-voix
50 rue F. Buisson, BP 699
62228 Calais CEDEX.
☎ 03 21 46 55 83
Carole.Rosier@lmpa.univ-littoral.fr

Centrale Supélec *Anna Rozanova-Pierrat*
Laboratoire MICS, Centrale Supélec,
Batiment Bouygues,
3, rue Joliot Curie,
91190 Gif-sur-Yvette
anna.rozanova-pierrat@centralesupelec.fr

Cergy *Elisabeth Logak*
Dép. de Mathématiques,
Univ. de Cergy-Pontoise / Saint-Martin
2 av. Adolphe Chauvin
95302 Cergy-Pontoise CEDEX
☎ 01 34 25 65 41 – 🖷 01 34 25 66 45
elisabeth.logak@u-cergy.fr

Chine *Claude-Michel Brauner*
IMB, Université de Bordeaux I
351 cours de la Libération
Bât. A33
33405 Talence CEDEX
☎ 05 40 00 60 50
brauner@math.u-bordeaux.fr

Clermont-Ferrand *Arnaud Munch*
Laboratoire de Math. Blaise Pascal,
Université Clermont Auvergne,
Campus Universitaire des Cezeaux,
3, place Vasarely, 63178 Aubiere Cedex
☎ 04 73 40 79 65 – 🖷 04 73 40 70 64
Arnaud.Munch@math.univ-bpclermont.fr

Compiègne *Véronique Hédou*
Équipe de Mathématiques Appliquées
Dept Génie Informatique
Univ. de Technologie, BP 20529
60205 Compiègne CEDEX
☎ 03 44 23 49 02 – 🖷 03 44 23 44 77
Veronique.Hedou@utc.fr

Dijon *Alexandre Cabot*
Institut de Mathématiques
Univ. de Bourgogne
BP 47870
21078 Dijon CEDEX
alexandre.cabot@u-bourgogne.fr

École Polytechnique *Aline Lefebvre-Lepot*
CMAP, École Polytechnique
91128 Palaiseau
☎ 01 69 33 45 61 – 🖷 01 69 33 46 46
aline.lefebvre@polytechnique.edu

ENS Cachan *Laure Quivy*
CMLA, ENS Cachan
61 av. du Président Wilson
94235 Cachan CEDEX
☎ 01 47 40 59 12
quivy@clma.ens-cachan.fr

ENS Paris *Virginie Bonnaillie-Noel*
DMA, Ecole Normale Supérieure
45 rue d'Ulm,
75230 Paris CEDEX
☎ 01 44 32 20 58 – 🖷 01 44 32 20 80
bonnaillie@math.cnrs.fr

EHESS *Amadine Aftalion*
CAMS, EHESS
54, bd. Raspail,
75270 Paris CEDEX 06
☎ 01 49 54 20 84
amandine.aftalion@math.cnrs.fr

États-Unis *Rama Cont*
IEOR, Columbia University
316 S. W. Mudd Building
500 W. 120th Street, New York,
New York 10027 – Etats-Unis
☎ + 1 212-854-1477
Rama.Cont@columbia.edu

Evry *Stéphane Menozzi*
LPMA, Sorbonne Université
4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05
stephane.menozzi@univ-evry.fr

Evry Génopole *Laurent Denis*
Dpt de Math.
Univ. du Maine
72085 Le Mans
☎ 01 64 85 34 98
ldenis@univ-lemans.fr

Franche-Comté *Nabile Boussaid*
Lab. de mathématiques
UFR Sciences et Techniques
16 route de Gray
25030 Besançon CEDEX
☎ 03 81 66 63 37 – 🖷 03 81 66 66 23
boussaid.nabile@gmail.com

Grenoble *Brigitte Bidegaray*
Laboratoire Jean Kuntzmann,
Université Grenoble Alpes,
Bâtiment IMAG, CS 40700,
38058 GRENOBLE CEDEX 9
☎ 04 76 57 46 10 – 🖷 04 76 63 12 63
Brigitte.Bidegaray@univ-grenoble-alpes.fr

Israël *Ely Merzbach*
Dept of Mathematics and Computer Science
Bar Ilan University Ramat Gan.
Israel 52900
☎ + 972 3 5318407/8 – 🖷 + 972 3 5353325
merzbach@macs.biu.ac.il

La Réunion *Philippe Charton*
Dép. de Mathématiques et Informatique IREMIA
Univ. de La Réunion
BP 7151
97715 Saint-Denis Messag CEDEX 9
☎ 02 62 93 82 81 – 🖷 02 62 93 82 60
Philippe.Charton@univ-reunion.fr

Le Havre *Adnan Yassine*
IUT du Havre
Place Robert Schuman
BP 4006
76610 Le Havre.
☎ 02 32 74 46 42 – 🖷 02 32 74 46 71
adnan.yassine@iut.univ-lehavre.fr

Le Mans *Alexandre Popier*
Dép. de Mathématiques
Univ. du Maine
Av. Olivier Messiaen
72085 Le Mans CEDEX 9
☎ 02 43 83 37 19 – 🖷 02 43 83 35 79
Alexandre.Popier@univ-lemans.fr

Lille *Caterina Calgaro*
Lab. de Mathematiques Appliquees
Univ. des Sciences et Technologies de Lille
Bat. M2, Cité Scientifique
59655 Villeneuve d'Ascq CEDEX
☎ 03 20 43 47 13 – 🖷 03 20 43 68 69
Caterina.Calgaro@univ-lille1.fr

Limoges *Samir Adly*
LACO
Univ. de Limoges
123 av. A. Thomas
87060 Limoges CEDEX
☎ 05 55 45 73 33 – 🖷 05 55 45 73 22
adly@unilim.fr

Lorraine-Metz *Jean-Pierre Croisille*
Institut Élie Cartan de Lorraine,
Université de Lorraine - Metz,
3 rue Augustin Fresnel, BP 45112,
57073 Metz, Cedex 03
☎ 03 87 31 54 11 – 🖷 03 87 31 52 73
jean-pierre.croisille@univ-lorraine.fr

Lorraine-Nancy *Denis Villemonais*
Institut Élie Cartan de Lorraine
Université de Lorraine - Nancy,
BP 239
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy
☎ 03 83 68 45 95 – 🖷 03 83 68 45 61
denis.villemonais@univ-lorraine.fr

Lyon *Morgane Bergot*
Institut Camille Jordan,
Univ. Claude Bernard Lyon 1
43 b^{d} du 11 novembre 1918
69622 Villeurbanne CEDEX
bergot@math.univ-lyon1.fr

Marne la Vallée *Alain Prignet*
Univ. de Marne-la-Vallée, Cité Descartes
5 b^{d} Descartes
77454 Marne-la-Vallée CEDEX
☎ 01 60 95 75 34 – 🖷 01 60 95 75 45
alain.prignet@univ-mlv.fr

Maroc *Khalid Najib*
École Nationale de l'Industrie Minérale
B^{d} Haj A. Cherkaoui, Agdal
BP 753, Rabat Agdal 01000
Rabat
Maroc
☎ 00 212 37 77 13 60 – 🖷 00 212 37 77 10 55
najib@enim.ac.ma

Marseille *Loïc Le Treust*
LATP
Université Paul Cézanne
Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, Case Cour A
Av. Escadrille Normandie-Niemen
13397 Marseille Cedex 20, France ☎ 04 91 28 88 40 – 🖷 01 91 28 87 41
loic.le-treust@univ-amu.fr

Montpellier *Matthieu Alfaro*
I3M, Dép. de Mathématiques,
Univ. Montpellier II, CC51
Pl. Eugène Bataillon
34095 Montpellier CEDEX 5
☎ 04 67 14 42 04 – 🖷 04 67 14 35 58
malfaro@math.univ-montp2.fr

Nantes *Anaïs Crestetto*
Université de Nantes
2, rue de la Houssinière - BP92208
44321 Nantes CEDEX 3
☎ 02 51 12 59 86
Anais.Crestetto@univ-nantes.fr

Nice *Claire Scheid*
Lab. Jean-Alexandre Dieudonné
Univ. de Nice, Parc Valrose
06108 Nice CEDEX 2
☎ 04 92 07 64 95 – 🖷 04 93 51 79 74
claire.scheid@unice.fr

Norvège *Snorre Christiansen*

snorrec@math.uio.no

Orléans *Cécile Louchet*
Institut Denis Poisson
Univ. d'Orléans
BP 6759
45067 Orléans CEDEX 2
☎ 02 38 49 27 57 – 🖷 02 38 41 71 93
Cecile.Louchet@univ-orleans.fr

Paris I *Philippe Bich*
Centre d'Economie de la Sorbonne
UMR 8174
Univ. Paris 1 Pantheon-Sorbonne
Maison des Sciences Economiques
106 -112 boulevard de l'Hôpital
75647 PARIS CEDEX 13
☎ 01 44 07 83 14 – 🖷 01 44 07 83 01
philippe.bich@univ-paris1.fr

Paris Dauphine *David Gontier*
CEREMADE
Univ. Paris-Dauphine
Pl du M^{al} de Lattre de Tassigny
75775 Paris CEDEX 16
☎ 01 44 05 47 26 – 🖷 01 44 05 45 99
gontier@ceremade.dauphine.fr

Paris Descartes *Ellen Saada*
Lab. MAP 5 - UMR CNRS 8145
Univ. Paris Descartes
45 rue des Saints Pères
75270 Paris cedex 06
☎ 01 42 86 21 14 – 🖷 01 42 86 41 44
ellen.saada@mi.parisdescartes.fr

Paris Est *Mickaël Dos Santos*
Univ. Paris Est Créteil
UPEC
61 av. du Général de Gaulle
94010 Créteil CEDEX PS
☎ 01 45 17 16 42
mickael.dos-santos@u-pec.fr

Paris Saclay *Benjamin Graille*
Mathématiques, Bât. 425
Univ. Paris Saclay
91405 Orsay CEDEX
☎ 01 69 15 60 32 – 🖷 01 69 14 67 18
Benjamin.Graille@math.u-psud.fr

Paris XIII *Jean-Stéphane Dhersin*
Univ. Paris XIII
Département de Mathématiques Institut Galilée
99, Avenue Jean-Baptiste Clément
93430 Villetaneuse
☎ 01 45 17 16 52
dhersin@math.univ-paris13.fr

Pau *Brahim Amaziane*
Lab. de Math. Appliquées, IPRA,
Univ. de Pau
av. de l'Université
64000 Pau
☎ 05 59 92 31 68/30 47 – 🖷 05 59 92 32 00
brahim.amaziane@univ-pau.fr

Portugal *Pedros Freitas*

freitas@cii.fc.ul.pt

Perpignan *Oana Serea*
Dépt de Mathématiques
Univ. de Perpignan
52 avenue de Villeneuve
66860 Perpignan CEDEX
☎ 04 68 66 21 48
serea@univ-perp.fr

Poitiers *Farida Enikeeva*
LMA
Univ. de Poitiers
B[d] Marie et Pierre Curie
BP 30179
86962 Futuroscope Chasseneuil CEDEX
☎ 05 49 49 68 85
farida.enikeeva@math.univ-poitiers.fr

Reims *Stéphanie Salmon*
Lab. de Mathématiques
Univ. Reims
Moulin de la Housse – BP 1039
51687 Reims CEDEX 2
☎ 03 26 91 85 89 – 🖷 03 26 91 83 97
stephanie.salmon@univ-reims.fr

Rennes *Roger Lewandowski*
Univ. Rennes 1
IRMAR, Université Rennes1,
Campus Beaulieu, 35042 Rennes
☎ 02 23 23 58 64
Roger.Lewandowski@univ-rennes1.fr

Rouen *Jean-Baptiste Bardet*
LMRS
Univ. de Rouen
av. de l'Université - BP 12
76801 Saint-Étienne-du-Rouvray
☎ 02 32 95 52 34 – 🖷 02 32 95 52 86
Jean-Baptiste.Bardet@univ-rouen.fr

Rouen (INSA) *Anastasia Zakharova*
Lab. de Mathématiques de l'INSA
INSA Rouen Normandie
- Av. de l'Université, BP 08
76801 St Etienne du Rouvray CEDEX
☎ 02 32 95 65 38 – 🖷 02 32 95 99 03
anastasia.zakharova@insa-rouen.fr

Savoie *Stéphane Gerbi*
Lab. de Mathématiques
Univ. de Savoie
73376 Le Bourget du Lac CEDEX
☎ 04 79 75 87 27 – 🖷 04 79 75 81 42
stephane.gerbi@univ-savoie.fr

Sorbonne Université *Nina Aguillon*
Lab. Jacques-Louis Lions
Boîte courrier 187
Sorbonne Université
4 place Jussieu
75252 Paris CEDEX 05
☎ 01 44 27 91 67 – 🖷 01 44 27 72 00
aguillon@ann.jussieu.fr

Sorbonne Université *Noufel Frikha*
LPMA, Sorbonne Université
4 place Jussieu
75252 Paris CEDEX 05
☎ 01 57 27 91 33
frikha.noufel@gmail.com

Strasbourg *Michel Mehrenberger*
IRMA
Univ. de Strasbourg
7 rue René Descartes
67084 Strasbourg CEDEX
☎ 03 68 85 02 05
mehrenbe@math.unistra.fr

Toulouse *Sébastien Gerchinovitz*
IMT, Univ. Toulouse 3
118 route de Narbonne 31077 Toulouse
CEDEX 4
sebastien.gerchinovitz@math.univ-toulouse.fr

Tours *Vincent Perrollaz*
Institut Denis Poisson
Fac. Sciences et Technique de Tours
7 parc Grandmont
37200 Tours
vincent.perrollaz@lmpt.univ-tours.fr

Valenciennes *Juliette Venel*
LAMAV
Univ. de Valenciennes
Le Mont Houy – ISTV2
59313 Valenciennes CEDEX 9
☎ 03 27 51 19 23 – 🖷 03 27 51 19 00
juliette.venel@univ-valenciennes.fr

Versailles *Pierre Gabriel*
Université De Versailles St-Quentin-en-Yvelines
Bâtiment Fermat 45 Avenue Des Etats Unis
59313 Valenciennes CEDEX 9
☎ 01 39 25 30 68 – 🖷 01 39 25 46 45
pierre.gabriel@uvsq.fr