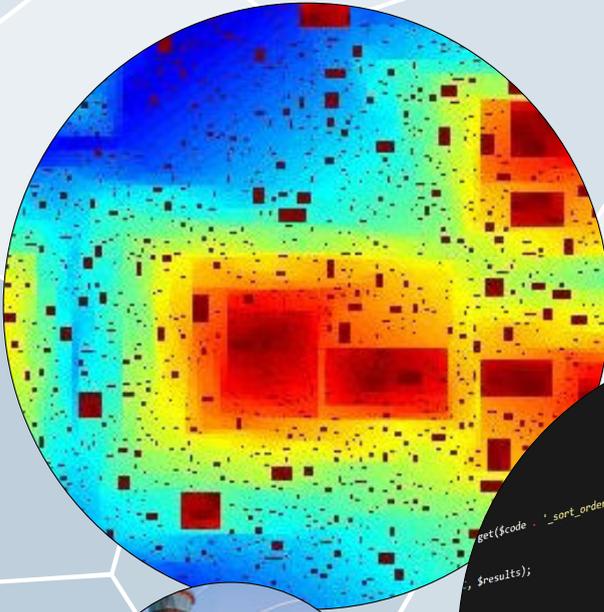


MATAPLI



```
355 Carousel.prototype.items = function() {
356   return this.$items.toArray();
357 }
358
359 Carousel.prototype.getItemForDirection = function(direction, pos) {
360   var delta = direction === 'prev' ? -1 : 1;
361   var activeIndex = this.getItemIndex(this.$active);
362   var itemIndex = (activeIndex + delta) % this.$items.length;
363   return this.$items.eq(itemIndex);
364 }
365
366 Carousel.prototype.to = function(pos) {
367   var that = this;
368   var activeIndex = this.getItemIndex(this.$active);
369   if (pos > (this.$items.length - 1) || pos < 0) return;
370   if (this.sliding) return this.$element.one('slid.bs', function() {
371     if (activeIndex == pos) return this.pause().cycle();
372     return this.slide(pos > activeIndex ? 'next' : 'prev', true);
373   });
374   if (activeIndex == pos) return this.pause().cycle();
375   return this.slide(pos > activeIndex ? 'next' : 'prev', true);
376 }
377
378 Carousel.prototype.pause = function(e) {
379   e || (this.paused = true);
380 }
381
382 if (this.$element.find('.next, .prev').length &&
383   this.$element.trigger($.support.transition ? 'transitionend.bs' : 'transitionend')
384   this.cycle(true);
385 }
386
387 this.interval = clearInterval(this.interval);
388
389
```

Comité de rédaction

Rédacteur en chef

Équipe ANGE, INRIA Paris

Julien SALOMON

salomon@inria.fr

Rédacteur en chef adjoint

CEREMADE, CNRS, Université Paris-Dauphine

Maxime CHUPIN

chupin@ceremade.dauphine.fr

Rédacteurs et rédactrices

Congrès et colloques

Fédération Denis Poisson, Université d'Orléans

Thomas HABERKORN

thomas.haberkorn@univ-orleans.fr

Du côté de l'INRIA

INRIA Paris

Arthur VIDARD

Arthur.Vidard@inria.fr

Du côté des écoles d'ingénieurs Emmanuel AUDUSSE et Olivier LAFITTE

LAGA, Université Paris XIII

eadusse@yahoo.fr, lafitte@math.univ-paris13.fr

Du côté du réseau MSO

LMI, INSA, Rouen

Christian GOUT

christian.gout@insa-rouen.fr

Nouvelles du CNRS

ENS

Nicolas THOLOZAN

Nicolas.Tholozan@ens.fr

Résumés de livres

Université de Lille 1

Ana MATOS

ana.matos@univ-lille1.fr

Résumés de thèses et HDR

Fédération Denis Poisson, Université d'Orléans

Cécile LOUCHET

cecile.louchet@univ-orleans.fr

Vie de la communauté

Laboratoire J.A. Dieudonné, Université Côte d'Azur

Claire SCHEID

claire.scheid@univ-cotedazur.fr

MATAPLI — Bulletin n° 133 — Avril 2024.

Édité par la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles

Directeur de la publication

Samir ADLY, Président de la SMAI

Composition, mise en page

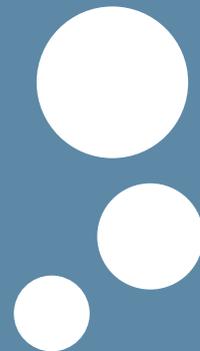
Julien SALOMON et Maxime CHUPIN

Impression

Présence Graphique,

2 rue de la Pinsonnière, 37260 Monts

Sommaire



| | |
|---|-------|
| ÉDITO | — 3 |
| COMPTES RENDUS DU CA DE LA SMAI | — 7 |
| BONNES PRATIQUES POUR LA PROGRAMMATION | — 21 |
| PASCAL MARONI (1933-2024) | — 35 |
| JEAN CÉA (1932-2024) | — 37 |
| HEDY ATTOUCH (1949-2023) | — 43 |
| PRIX NEVEU : PERCOLATION BOOTSTRAP ET MODÈLES CINÉTIQUEMENT CONTRAINTS | — 49 |
| PRIX IRÈNE JOLIOT-CURIE « JEUNE FEMME SCIENTIFIQUE » 2023 : VIRGINIE EHR-LACHER | — 65 |
| DU CÔTÉ DU LABEX AMIES | — 69 |
| SITE PHD-MATHS-ENTREPRISES.FR | — 79 |
| LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS À COMPOSANTE MATHÉMATIQUE IMPORTANTE (8) | — 85 |
| PROJETS BOUM | — 91 |
| RÉSUMÉS DE THÈSES ET HDR | — 107 |
| ANNONCES DE COLLOQUES | — 159 |
| CORRESPONDANTES ET CORRESPONDANTS LOCAUX | — 163 |

Date limite de soumission des textes pour le Matapli 134 :
15 mai 2024

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 2024

- 150 € pour une demi-page intérieure
- 250 € pour une page intérieure
- 400 € pour la 3^e de couverture
- 450 € pour la 2^e de couverture
- 500 € pour la 4^e 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

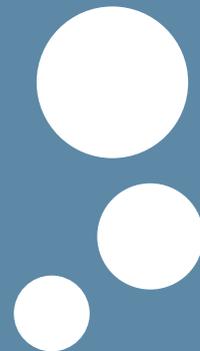
SMAI – Institut Henri Poincaré – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris Cedex 05

Tél : 01 44 27 66 62 – Télécopie : 01 44 07 03 64

smai@math.fr

Site internet de la SMAI :

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



par :

*Samir ADLY¹ — Université de Limoges, Laboratoire
XLIM*

Chers membres de la communauté SMAI,

Je souhaite consacrer cet éditorial à nos activités récentes et à venir, mettant en lumière l'importance croissante des mathématiques appliquées et industrielles dans notre société.

La SMAI a continuellement œuvré pour favoriser la diffusion des connaissances et le développement de réseaux au sein de notre communauté à travers une multitude d'initiatives scientifiques. Nos conférences, publications et événements ont permis d'explorer une variété de domaines, allant de la modélisation des phénomènes complexes à l'application de simulations numériques avancées. Dans le contexte actuel, où la technologie et l'analyse des données occupent une place prépondérante, les compétences mathématiques revêtent une importance cruciale. Elles sont indispensables pour optimiser des processus et prendre des décisions éclairées. Qu'il s'agisse de la finance, de l'ingénierie, de la logistique, de la recherche opérationnelle ou de l'intelligence artificielle, les mathématiques sont au cœur de nombreuses disciplines. Les entreprises qui investissent dans le développement des compétences mathématiques offrent à leurs collaborateurs un avantage concurrentiel indéniable, favorisant ainsi l'innovation, l'efficacité opérationnelle et la prise de décisions fondées sur des données fiables.

La SMAI a également joué un rôle crucial dans la promotion du calcul scientifique et numérique, des domaines intimement liés aux applications pratiques des mathématiques. Ces disciplines fournissent les outils essentiels pour résoudre des problèmes dans des domaines tels que l'ingénierie, la physique, la biologie et bien d'autres. Grâce au calcul scientifique, nous pouvons modéliser des phénomènes du monde réel avec une précision et une efficacité accrues, ce qui nous permet de concevoir de nouveaux produits, de comprendre des processus naturels sophistiqués et même de prédire des événements futurs. La capacité à utili-

1. samir.adly@unilim.fr

ser des méthodes numériques pour simuler et analyser des systèmes physiques, biologiques ou socio-économiques est devenue un élément indispensable de la recherche et du développement dans de nombreux domaines. Par conséquent, la SMAI s'engage à promouvoir l'excellence dans le domaine du calcul scientifique et numérique, en favorisant les échanges d'idées et le développement de nouvelles techniques pour résoudre les défis du monde réel. C'est dans cet esprit que le prochain Congrès national d'Analyse Numérique (CANUM 2024), organisé conjointement par le Laboratoire Mathématiques, Image et Applications (MIA) de La Rochelle Université et la SMAI, se tiendra du 27 au 31 mai 2024 sur l'Île de Ré. Nous sommes impatients de vous accueillir à cet événement, qui favorisera les échanges autour de l'analyse numérique et de ses applications.

Répondant à notre engagement envers la diffusion des mathématiques, nous avons lancé récemment le Mois des Mathématiques Appliquées et Industrielles (MzAI), une série de conférences de diffusion scientifique. Cette initiative, vise à rendre les mathématiques accessibles à un large public, des étudiants aux ingénieurs en passant par les enseignants. L'organisation en province de la seconde édition de novembre 2024 est en cours de discussion.

Nous sommes également fiers de maintenir notre engagement en faveur de l'accès ouvert aux recherches en mathématiques, grâce au modèle *Subscribe to Open*, pour la quatrième année consécutive. Nous tenons à remercier nos partenaires, ainsi que l'ensemble de la communauté mathématique, pour leur soutien continu.

Dans le même esprit, la revue *Mathematical Modelling of Natural Phenomena* de la SMAI lance un appel à contributions pour une édition spéciale en l'honneur de Vitaly Volpert, créateur et éditeur en chef de la revue jusqu'en 2023.

À l'heure où j'écris cet éditorial, nous venons d'apprendre que Michel Talagrand, membre de l'Académie des sciences et ancien directeur de recherche CNRS à l'Institut de Mathématiques de Jussieu – Paris Rive Gauche (CNRS, Sorbonne Université et université Paris Cité), a été récompensé par le prestigieux prix Abel. Cette distinction vient saluer ses contributions majeures à la théorie des probabilités et à l'analyse fonctionnelle, qui ont eu un impact remarquable en physique mathématique et en statistique. Au nom de la SMAI, nous adressons à Michel Talagrand nos plus sincères et chaleureuses félicitations pour ce prestigieux prix.

Le Congrès des jeunes chercheurs en mathématiques et Applications (CJC-MA), initié par la SMAI, vise à intégrer les jeunes chercheurs dans la communauté scientifique, à leur donner de la visibilité et à favoriser les échanges scientifiques. L'édition de cette année se tiendra à l'ENS de Lyon du 28 au 30 octobre 2024, offrant une plateforme d'échanges et de collaboration précieuse. Notons

que l'édition précédente s'est tenue à CentraleSupélec du 25 au 27 septembre 2023, sous l'égide de sa Fédération de Mathématiques.

Chaque année, la SMAI lance l'appel à projet BOUM SMAI (BOUge tes Mathématiques) pour les jeunes de la SMAI afin de favoriser l'insertion dans la communauté et la prise d'initiative des jeunes chercheuses et chercheurs (en thèse, en post-doctorat, ou en poste permanent depuis moins de deux ans) en Mathématiques Appliquées. En 2023, 11 projets BOUM ont été retenus par le CA de la SMAI et un nouvel appel vient d'être lancé.

Enfin, nous sommes ravis d'annoncer que l'Institut de Mathématiques de Bordeaux (IMB) organisera la biennale de 2025, rassemblant ainsi la communauté des mathématiques appliquées et industrielles dans la région Nouvelle-Aquitaine.

L'engagement actif de chacun est essentiel pour le développement de notre communauté. Nous encourageons vivement nos membres à prendre part activement à la vie de la SMAI, à proposer des projets novateurs et à partager leurs connaissances lors de nos événements. Nous accueillons favorablement vos suggestions et critiques, et le Bureau de la SMAI s'engage à les étudier attentivement.

En conclusion, je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance envers tous nos adhérents pour leur dévouement envers la SMAI et leur contribution à nos initiatives. Ensemble, nous continuerons à promouvoir et à faire avancer les mathématiques appliquées et industrielles.

Samir ADLY



Président de la SMAI. Professeur en mathématiques à l'Université de Limoges, Laboratoire XLIM. Mes thématiques de recherches sont : Optimisation, analyse variationnelle et non-lisse.

Email : samir.adly@unilim.fr

Site web :

https://www.unilim.fr/pages_perso/samir.adly/

Comptes rendus du conseil d'administration de la SMAI

par :

Marianne AKIAN¹ – Secrétaire générale de la SMAI

COMPTE RENDU DU CA DE LA SMAI DU 20 OCTOBRE 2023

Présents : M. Akian, S. Adly, F. Barbaresco, G. Chapuisat, F. Charles, C. Choquet, A.-L. Dalibard, J. Delon, Y. Demichel, V. Desveaux, N. Forcadel, O. Goubet, R. Hadji, R. Lewandowski, Y. Mammeri, M. Ribot, F. Sueur, A. Véber, L. Weynans.

Représentés : C. Cancès (pouvoir M. Akian), B. Liquez (pouvoir S. Adly).

Excusés : P. Calka, L. Goudenège, V. Leclere, A. Nouy, M. Zani.

Cette réunion du Conseil d'Administration de la SMAI a eu lieu le vendredi 20 octobre à partir de 14h, en mode hybride – en présentiel à l'IHP et en visio conférence. Elle s'est terminée à 15h34.

1 Principaux points à l'ordre du jour

1.1 Point sur le secrétariat

Suite à sa demande, Huong Fuentes aura une deuxième journée de télétravail fixe par semaine, à rediscuter dans un an.

1. marianne.akian@inria.fr

1.2 Point sur les publications

Amandine Véber fait le point sur les publications.

- La revue MathS In Action vient de publier son deuxième numéro spécial, « Mathématiques et Biologie », coordonné par Vincent Bansaye (École Polytechnique), Estelle Kuhn (INRAE) et Philippe Moireau (Inria). La SMAI remercie très chaleureusement les trois éditeurs invités pour tout le travail accompli.
- Le renouvellement des éditeurs en chef de la revue RAIRO-OR est en cours. La SMAI et EDP Sciences sont extrêmement reconnaissants envers les éditeurs en chef actuels, Ridha Mahjoub (Université Paris Dauphine) et Nelson Maculan (Univ. de Rio de Janeiro) pour tout le travail accompli au cours des 12 années de service de Ridha et 5 années de Nelson afin d'amener la revue à l'excellent niveau qu'elle a atteint sous leurs mandats.
- Décision est prise en CA de dénoncer le contrat qui lie la SMAI à Springer concernant la collection de livres « Mathématiques et Applications ».
- En tant que responsable des publications de la SMAI, Amandine Véber a pris part à la journée de restitution des projets financés par le Fonds National pour la Science Ouverte qui a eu lieu le 27 septembre 2023 à Jussieu. La réunion d'automne du comité de suivi du Subscribe to Open a eu lieu le 11 octobre, co-organisée par la SMAI et EDP Sciences; Olivier Goubet a représenté la SMAI lors de la dernière réunion du consortium récemment formé pour promouvoir les initiatives françaises d'accès ouvert en mathématiques qui s'est tenue le 18 octobre.
- La SMAI participe également à la mise en place du prix Jean-Pierre Demailly (avec les collègues de la revue Epiga ayant lancé l'idée, ainsi que la SMF et la SFdS), qui sera un prix biennal international récompensant des initiatives de science ouverte en mathématiques (plateformes ou logiciels libres, édition en accès ouvert,...). Le CA décide à l'unanimité que la SMAI pourra contribuer au financement de ce prix, jusqu'à concurrence de 500 euros par édition.

1.3 Point sur l'enseignement

Yann Demichel présente les questions liées à l'enseignement.

- La traditionnelle réunion publique annuelle organisée par la SMAI et la SMF avec le jury du concours de l'agrégation externe de mathématique, les préparateurs nationaux et les agrégatifs, visant notamment à présenter

le bilan de la session passée, les évolutions de la session à venir, etc., s'est tenue le vendredi 13 octobre, de 10h30 à 12h30, en l'amphithéâtre Stourdzé au MESR (1 rue Descartes, 75005 Paris) en mode hybride. La SMAI était représentée par Olivier Garet, membre de la commission Enseignement.

- Les Journées nationales 2023 de l'APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public) se dérouleront du 21 au 24 octobre à Rennes². Rozenn Texier-Picard, membre de la commission Enseignement, représentera la SMAI. Elle co-animera notamment un stand commun avec la SMF. Un retour sera fait au prochain bureau de la SMAI.
- Yann Demichel a représenté la SMAI à la réunion annuelle du comité scientifique et d'orientation du programme MathC2+³. Stéphane Seuret, actuel directeur, a dressé un bilan des années passées et présenté des pistes d'évolution. L'objectif principal est de mettre en place une étude statistique des retombées de ce programme, basée sur un suivi de cohortes.
- Pour rappel, ce programme national consiste à accueillir des groupes de lycéens choisis par les inspections d'académie, dans des laboratoires pour des stages d'initiation à la recherche. Les élèves choisis sont issus de milieux sociaux peu favorisés. La SMAI est associée à ce programme comme soutien. Elle est invitée à faire de la publicité et solliciter des laboratoires pour participer au programme. Olivier Goubet propose de renforcer le dispositif en associant les écoles d'ingénieurs. La convention de stage est souple mais une difficulté est que les stages s'adressent à des groupes importants (15-25 personnes) sur une durée longue (3-5 jours), durant les semaines de vacances scolaires.
- Une tribune « Réforme du lycée général : petites failles ou grandes fractures ? » a été rédigée par le collectif Maths&Sciences auquel adhère la SMAI. Cette tribune fait à nouveau état des principaux problèmes causés par la réforme du lycée et du baccalauréat. Elle est parue sur le site du magazine La Recherche le 17 septembre⁴.
- Sur la question des amendements à la réforme du lycée, rien n'a réellement été fait depuis la mise en place d'un « Enseignement Mathématique » en classe de 1ère rendu obligatoire pour les lycéens qui ne choisissent pas la spécialité « Mathématique ». En revanche, l'examen du baccalauréat voit une évolution importante cette année dans le cadre de la reconquête du

2. Voir <https://www.apmep.fr/JN-2023-Rennes>

3. Voir <https://www.mathc2plus.fr/>

4. Voir <https://www.larecherche.fr/tribune/reforme-du-lycee-general-petites-failles-ou-grandes-fractures>

mois de juin. Les épreuves de spécialités sont toutes décalées de mars à fin juin. L'objectif est de lutter contre l'absentéisme et le décrochage. Surtout, l'intégralité du programme de mathématique devient au programme de l'épreuve, ce qui peut permettre de meilleurs acquis des lycéens pour leurs poursuites d'études.

- Louise Nyssen a envoyé un texte rédigé par le COSSAF (Collège des Sociétés Savantes Académiques) auquel adhère la SMAI au sujet de la formation et du recrutement des professeurs des écoles. La SMAI est signataire de ce texte, très général, qui alerte sur la nécessité de stabiliser les procédures de recrutement et de ne pas les modifier sans cesse (notamment concernant les années requises à l'obtention du diplôme).
- Les prix d'Alembert et Jacqueline Ferrand visant à récompenser respectivement une action de diffusion de la connaissance des mathématiques vers un large public et une action pédagogique innovante dans le domaine des mathématiques⁵ seront décernés par la SMF en 2024. La SMAI doit désigner un membre du jury commun à ces deux prix. Sur proposition du bureau, Igor Kortchemski a accepté de remplir ce rôle.
- Il faudrait penser dès à présent au remplacement de Yann Demichel lors du renouvellement du CA en 2024, car son mandat ne pourra plus être renouvelé.

1.4 Point sur les actions grand public

Samir Adly fait le point sur les actions grand public.

Le Mois des Mathématiques Appliquées et Industrielles (M2AI) est prêt. Le site web est accessible au lien suivant : <https://mois-smai.math.cnrs.fr/>. Nous avons imprimé 100 affiches et 100 flyers pour promouvoir l'événement, lesquels ont été livrés au LJLL. Le premier exposé aura lieu le mardi 7 novembre 2023 à 18h30 à l'amphi Hermite de l'IHP.

Nous tenons à exprimer nos remerciements envers les organisateurs du LJLL, Nina Aguillon, Xavier Claeys, Bruno Despres, Yvon Maday et Ayman Moussa, pour leur précieux travail. Sans oublier Emmanuel Trélat et Albert Cohen (direction du LJLL) qui ont soutenu l'événement depuis le début. Un grand merci aussi à Raphaèle Herbin et Alexandre Ern pour leur participation au comité scientifique. Enfin un grand merci aux orateurs, Chloé Audebert, Axel Parmentier, Anne-Laure Dalibard, Patrice Hauret et Thibault Dairy, d'avoir accepté d'intervenir dans le M2AI.

5. Voir <https://smf.emath.fr/la-smf/les-prix-de-la-smf>

Du côté du budget, le M2AI de cette année a été sponsorisé par le GDR MOA, le GDR MASCOT-NUM, la FSMP, la FMJH, le GDR Jeux et le GDR AEDP. Nous remercions tous les sponsors pour leurs soutiens financiers.

Pour l'édition de 2024, Samir a contacté Victorita Dolean, qui l'a orienté vers Jean-Baptiste Caillau à Nice, lequel s'est montré enthousiaste pour organiser l'édition de novembre 2024.

1.5 Nouvelles des groupes thématiques

- Concernant le groupe **MODE**, Samir Adly rappelle que les prochaines journées MODE auront lieu à Lyon du 27 au 29 mars 2024.
- Magalie Ribot informe des changements de responsables du groupe **MABIOME**. Elle et Florence Hubert ont souhaité passer la main et le groupe a désigné Youcef Mammeri et Milica Tomasevic comme nouveaux responsables. Youcef Mammeri se présente, puis fait le point sur les activités du groupe MABIOME. Les journées Maths Bio Santé auront lieu du 27 novembre au 1er décembre à Marne la Vallée et ont déjà 80 inscrits.
- Marianne Akian transmet les informations fournies par Clément Pellegrini concernant le groupe **MAS**. L'organisation des journées MAS 2024 avance bien : les conférenciers pléniers ont été choisis et les sessions parallèles sélectionnées. Le groupe va lancer l'appel à candidature pour le prix Jacques Neveu. La composition du jury est fixée : Vincent Bansaye, Jérémie Bigot, Yohann de Castro, Céline Duval, Magalie Fromont, Bénédicte Haas, Mylène Maïda, Clément Pellegrini.
- Concernant le groupe **GAMNI**, Samir Adly informe que le groupe a désigné les membres du jury pour le prix Blaise Pascal.

1.6 Bilan du FEM 2023 et FEM 2024

Le FEM 2023 a eu lieu le 10 octobre au CNAM et a attiré 1350 participants. La SMAI subventionne la participation de jeunes, à ce jour pour un montant total de 1500 euros ; c'est déjà beaucoup plus que l'année dernière. La SMAI remercie les organisateurs en chef Aurélie Fischer et Nicolas Wicker.

Cette année le CNAM a fourni gratuitement les locaux pour le FEM, alors que les années précédentes le FEM avait lieu à la Villette, avec un prix de location mais peut-être plus de facilités. Une réunion est prévue prochainement pour discuter du choix du lieu de FEM 2024.

1.7 Bilan du CJC 2023

Le CJC 2023 a eu lieu du 25 au 27 septembre 2023 à CentraleSupélec (Gif-sur-Yvette). Anne-Laure Dalibard qui a présidé le comité scientifique dit que la participation a été bonne et que l'équipe organisatrice était contente. La SMAI remercie chaleureusement les organisateurs et le comité scientifique pour leur travail.

1.8 Projets BOUM

Marianne Akian présente les 6 projets BOUM soumis. L'un est un projet de recherche collaborative au CIRM, et les 5 autres sont des projets d'organisation de rencontres (workshops ou journées). La demande financière totale des 6 projets est de 5100 euros. Un vote s'ensuit dans lequel les membres appartenant au même laboratoire que le candidat ne participent pas. Le CA décide alors, à l'unanimité des membres votants, d'accepter chacun des 6 projets BOUM.

1.9 CANUM 2024

Catherine Choquet décrit l'organisation du CANUM 2024 par le laboratoire MIA de l'Université de La Rochelle. Le comité d'organisation local souhaite l'organiser sur l'Île de Ré du lundi 27 au vendredi 31 mai. Le CA valide le lieu et la date. Samir Adly enverra rapidement l'annonce de l'événement.

1.10 Biennale 2025

La SMAI a reçu une seule candidature pour l'organisation de la Biennale 2025, émanant de Mathieu Colin pour une organisation par l'IMB (Institut de Mathématiques de Bordeaux, directeur : Vincent Koziarz). Le CA accepte cette candidature à l'unanimité des votants.

1.11 CEMRACS

Suite aux discussions au CA de juillet sur les difficultés à trouver des organisateurs pour le CEMRACS, Samir Adly a contacté 5 personnes qui ont accepté d'être dans un « *searching committee* » : Anne de Bouard, Yvon Maday, Frank Boyer, Vincent Leclere et Victorita Dolean. Victorita Dolean a envoyé un document sur les problématiques, et le comité s'est déjà réuni le mercredi 18 octobre. Samir n'a pas encore reçu de compte-rendu mais est optimiste pour le CEMRACS 2025.

Il faudra aussi décider rapidement du CEMRACS 2026.

1.12 Questions diverses

- Demande de parrainage concernant le 200ème anniversaire de l'information par Sadi Carnot (requête de Frédéric Barbaresco) :
La SMAI ne donne pas de subvention pour des manifestations, mais accepte de soutenir cette manifestation. Le parrainage n'est qu'un soutien « moral », pas financier. Ceci veut dire que les organisateurs peuvent mettre le logo de la SMAI sur le site web de la manifestation, et que la SMAI peut aussi diffuser l'information sur la manifestation.
- Demande de parrainage de la part de Felipe Garrido Lucero concernant la conférence GAIMSS24 <https://www.gaimss24.org/> : La réponse est la même que pour la manifestation précédente.
- Texte sur le 15 actions de l'INSMI (Les Assises des Mathématiques). Ce texte a été rédigé par Mélanie Guenais et amendé par la SMF et est présenté comme émanant des « Sociétés Savantes de Mathématiques ». Néanmoins, il a été proposé à la SMAI dans la semaine avec demande de réponse avant ce jour. Le CA est d'accord pour dire que l'on ne peut pas répondre dans l'urgence.

2 Points d'information

2.1 Manifeste « Limitation de l'avion dans les laboratoires de mathématiques : horizon 2030 »

Olivier Goubet a reçu une demande de soutien par la SMAI de ce Manifeste sous forme de diffusion ou de soutien explicite. Anne-laure Dalibard fait remarquer que ce manifeste concerne les individus : il est écrit sous forme d'un engagement individuel. Aussi, cela n'aurait pas de sens que la SMAI le signe. On propose de le diffuser par exemple dans la section « Divers » de SMAI-INFO.

2.2 Dates des prochains CA de la SMAI

Le prochain CA aura lieu le vendredi 2 février 14h et sera précédé d'un bureau à 10h.

COMPTE RENDU DU CA DE LA SMAI DU 2 FÉVRIER 2024

Présents : M. Akian, S. Adly, T. Bayen, P. Calka, C. Cancès, F. Charles, C. Choquet, A.-L. Dalibard, J. Delon, Y. Demichel, V. Desveaux, N. Forcadel, R. Hadiji, V. Leclere, R. Lewandowski, A. Nouy, A. Véber, L. Weynans.

Représentés : G. Chapuisat (pouvoir M. Akian), O. Goubet (pouvoir A.-L., Dalibard).

Excusés : F. Barbaresco, L. Goudenège, B. Liquet, F. Sueur, M. Zani.

1 Principaux points à l'ordre du jour

1.1 Point sur le secrétariat

Marianne Akian et Catherine Choquet informent le CA de la décision prise par le bureau en décembre de verser aux secrétaires les même primes que l'année précédente, mais en décembre 2023 au lieu de janvier 2024, car ces primes, appelées maintenant « primes de partage de la valeur », changent de système fiscal pour les salariés en janvier 2024, et seront donc soumises à l'impôt sur le revenu.

1.2 Point sur l'enseignement

Yann Demichel fait le point sur l'enseignement.

Il a réuni la commission enseignement en janvier en présence de Samir Adly, afin de discuter de son remplacement futur. Mais personne parmi les membres de la commission ne veut prendre cette responsabilité.

Yann peut encore siéger un peu plus d'un an au CA, mais son mandat de Vice-Président Enseignement se terminera durant le CA de juin 2024, peu après l'AG de la SMAI. Il faudra aussi renouveler la commission. Toute personne du CA intéressée par le poste peut contacter Yann.

Samir et Yann vont faire une fiche de poste, et ensuite Samir enverra un appel de type « *SMAI needs you* ».

1.3 Point sur les publications

Amandine Veber fait le point sur les publications.

La proposition de nouveaux éditeurs en chef pour la revue RAIRO-OR, établie par les représentantes de la SMAI et de la ROADEF, a été validée par un vote électronique (14 oui et 10 abstentions pour le CA de la SMAI). Les invitations seront bientôt envoyées. Avant cela, un changement dans les mandats des éditeurs en chef de cette revue est proposé et doit être validé par le CA. RAIRO-OR est la seule revue chapeautée par la SMAI dont le mandat des éditeurs en chef est de 3 ans ; pour toutes les autres revues le mandat est de 4 ans. Afin d'homogénéiser les procédures de renouvellement, il est donc proposé de faire passer le mandat des éditeurs en chef de RAIRO-OR à 4 ans. La communauté de la recherche opérationnelle étant très grande et couvrant un spectre très large, il est également proposé que les mandats soient non-renouvelables, afin de promouvoir une certaine diversité thématique dans la direction de la revue. Cette proposition est adoptée à l'unanimité des votants.

Huong Fuentes, secrétaire en charge des publications de la SMAI, a été invitée à participer à une journée d'échange autour des outils développés par le Centre Mersenne qui aura lieu au printemps 2024 à Grenoble. Le CA donne son accord unanime à sa participation et à la prise en charge de ses frais de mission.

Les 15 000€ payés à la SMAI par le consortium KOALA pour le soutien de la publication de SMAI-JCM ont été reçus fin 2023. Ils seront prochainement reversés au Centre Mersenne sous la forme d'une subvention (12 500€ en 2024, et si possible les derniers 2500€ en 2025).

Par ailleurs Amandine Véber prend la suite de Julie Delon dans le comité d'organisation des journées Sciences et Médias.

1.4 Point sur les actions grand public

Samir fait le point sur les actions grand public.

Les membres du bureau ont contacté plusieurs personnes pour trouver un futur Vice-Président délégué aux actions grand public, mais toutes ont décliné. Il faudra sans doute faire un appel avec celui pour le VP Enseignement.

Un second M2AI devrait être organisé à Nice. Samir doit recontacter Victo-rita Dolean et Jean-Baptiste Caillau pour cela.

1.5 Point sur les relations avec l'industrie : CERMACS

Vincent Leclere fait le point sur les relations avec l'industrie. Elles concernent seulement le CEMRACS.

Pour aider et encourager les organisateurs futurs, et au vu des discussions du search committee, on propose de réallouer les bénéfices dûs aux CEMRACS des années précédentes (actuellement 7,5 K€) au futur CEMRACS. Cette décision d'avance de frais est adoptée à l'unanimité.

Vincent est moins optimiste qu'avant concernant l'organisation d'un CEMRACS en 2025. Plusieurs chercheurs ont été contactés sur la thématique du calcul quantique, à Paris et à Limoges : ils sont intéressés à participer à l'organisation mais ne veulent pas en prendre la direction. Par ailleurs, il faut déposer le dossier au CIRM en mai et faire aussi rapidement une demande d'école thématique du CNRS.

1.6 Nouvelles des groupes thématiques

■ TERENCE BAYEN DONNE DES NOUVELLES DU GROUPE MODE.

Le groupe MODE a organisé avec le groupe SIGMA une journée SIGMA-MODE le 30 janvier à Inria Paris qui a attiré 50 participants.

Les journées MODE 2024 vont avoir lieu fin mars à l'INSA Lyon. Il y a eu 75 soumissions et il y a déjà 120 inscrits. Les journées comporteront un exposé de Jérôme Malick, lauréat du prix Jean-Jacques Moreau.

Le groupe MODE a décidé de lancer deux appels à projets par an pour soutenir des conférences (avec un montant de 1000 ou 1500 euros). Il réféchissent aussi à une prochaine journée SIGMA-MODE.

■ ANTONY NOUY DONNE DES NOUVELLES DU GROUPE SIGMA.

Antony est devenu le responsable depuis peu. Le comité de liaison du groupe compte aussi 5 départs et 4 arrivées. Eddie Aamari est trésorier et Anna Korba est responsable communication.

Antony a eu d'excellents échos de la journée SIGMA-MODE.

Le groupe SIGMA organise un workshop tous les 4 ans. Le prochain aura lieu au CIRM du 28 octobre au 2 novembre et devrait accueillir 70 participants.

Il organise aussi tous les 4 ans la conférence « *Curves and Surfaces* » qui accueille généralement 300 participants. La prochaine aura lieu en 2026 au Palais de Congrès de St Malo.

■ AMANDINE VEBER DONNE DES NOUVELLES DU GROUPE MABIOME. Le groupe organise un congrès annuel appelé « Journées Math Bio Santé » qui dure 3 jours et est précédé par 2 jours de cours. Le prochain aura lieu en juin à Nantes.

1.7 CANUM 2024

Clément Cancès donne des nouvelles de l'organisation du CANUM, en tant que président du Comité Scientifique. La liste des invités a fait consensus : 4 hommes et 5 femmes, de thématiques diverses (image, contrôle, maths-bio), de sorte que cela devrait attirer du monde. Ils viennent de faire l'appel à minisymposia, et de plus François Dubois a été proactif. La date limite est le 27 février.

Catherine Choquet présente les tarifs d'inscription. Il y a une petite augmentation de l'inscription et une plus grosse augmentation des frais de repas et logement due à l'augmentation de la nourriture.

Le CA adopte ces tarifs à l'unanimité.

1.8 Prix Yor 2024

Par un vote réalisé du 18 au 23 décembre 2023 auprès de l'ensemble des 24 membres du CA, et remportant l'unanimité des 19 votants, le CA a désigné les trois membres du jury du Prix Yor 2024 suivants : Sylvie Méléard, François Delarue, et Agnès Sulem.

La SMF et l'accadémie des sciences ont aussi désigné 3 et 2 membres du jury, respectivement.

Rejeb Hadiji est chargé des prix de la SMF à la SMF. Il faut maintenant modifier le règlement du prix, en fonction des propositions du jury précédent et des dates de cette année. Samir indique que la date limite de candidature serait le 16 septembre et celle de la remise du rapport du jury le 28 octobre.

1.9 CJC 2024 et 2025

Amandine Veber a cherché des volontaires pour organiser les prochains CJC. Une équipe de jeunes chercheurs de l'ENS de Lyon vient d'accepter d'organiser le CJC 2024 (on les en remercie!) et une équipe de l'Université de Rennes 1 pourrait se porter volontaire pour l'édition 2025.

1.10 Charte éco-responsable

Anne-Laure Dalibard et Clément Cancès ont élaboré une proposition de charte éco-responsable. Plusieurs modifications ont été proposées en séance. On décide d'attendre de la relire tranquillement, avant de la proposer au vote électronique des membres du CA.

1.11 Commission électorale

Pour les élections du tiers des membres du CA, il faut que 4 ou 5 membres du CA se portent volontaires pour faire partie de la commission électorale. Claire Scheid devrait en faire aussi partie et mettra en place le vote électronique, et les (autres) membres de la commission électorale seront chargés de générer des clés pour le bon déroulement du vote électronique.

Les volontaires sont Marianne Akian, Anne-Laure Dalibard, Roger Lewandowski, Antony Nouy, et Amandine Véber.

1.12 Questions diverses

- École franco-espagnole. La dernière école a eu lieu à Barcelone en 2023 et la prochaine aura lieu en 2025 à Ciudad Real comme annoncé sur le site de la SEMA. Habituellement la SMAI est contactée pour la constitution du CS. Pour le moment, la SMAI n'a pas été sollicitée. Il faudra nommer 2 personnes. Par ailleurs, l'usage est d'accorder une subvention à hauteur de 2k€ en tout, pour financer le voyage de participants. Le CA à l'unanimité donne dès à présent son accord pour une telle subvention pour l'École franco-espagnole 2025.
- JAM (Journée d'accueil des nouveaux recrutés en mathématiques). La prochaine JAM doit avoir lieu en début d'année 2025. En 2023, Rejeb Hadiji et Ludovic Goudenège faisaient partie de l'équipe d'organisation 2023, Rejeb sans doute en tant que représentant de la SMF et Ludovic Goudenège en tant que responsable SMAI de l'Opération Postes. Rejeb Hadiji est d'accord pour en faire encore partie en 2025.
- Manifeste « Limitation de l'avion dans les laboratoires de mathématiques : horizon 2030 ». Par un vote réalisé du 18 au 23 décembre 2023 auprès de l'ensemble des 24 membres du CA, et remportant 13 voix sur les 19 votants, le CA a décidé de soutenir le Manifeste « Limitation de l'avion dans les laboratoires de mathématiques : horizon 2030 ». Cette décision a été communiquée peu après le vote aux initiateurs du Manifeste.

2 Points d'information

2.1 Femmes en tête

Pour l'opération femmes en tête de la COSSAF, le bureau de la SMAI a proposé comme l'année dernière Daphné Giorgi (LPSM – Sorbonne Université (Pa-

ris 6) ingénieur de recherche). Celle-ci a été sélectionnée.

2.2 Dates des prochains CA de la SMAI

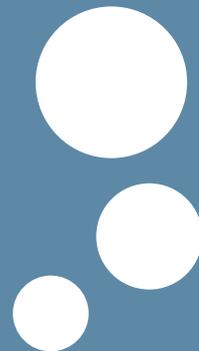
Les prochaines réunions du conseil d'administration de la SMAI auront lieu :

- le vendredi 5 avril à 14h;
- le vendredi 28 juin à 14h.

Elles seront précédées d'un bureau à 10h. D'autres réunions du bureau de la SMAI auront lieu les vendredi 8 mars et 3 mai à 14h.

La prochaine AG de la SMAI aura lieu le jeudi 20 juin 2024 à 14h.

Bonnes pratiques pour la programmation



par :

*Johann FAOUZI¹ — Univ Rennes, Ensai, CNRS, CREST
- UMR 9194, F-35000 Rennes, France*

TABLE DES MATIÈRES

| | | | |
|-------------------------------------|----|--|----|
| 1 Introduction | 21 | 4.1 Documentation du code source | 27 |
| 2 Gestion du code source .. | 22 | 4.2 Documentation d'un logiciel | 28 |
| 2.1 Versionnement | 22 | 5 Tests | 28 |
| 2.2 Disponibilité | 23 | 5.1 Les différents types de tests | 29 |
| 2.3 Gestion sémantique des versions | 25 | 5.2 La couverture de code | 29 |
| 3 Style de code | 25 | 6 Intégration continue et déploiement continu | 30 |
| 3.1 Linting | 26 | 7 Conclusion | 31 |
| 3.2 Formateurs | 26 | | |
| 4 Documentation | 27 | | |

1 Introduction

La programmation informatique est un pilier du monde d'aujourd'hui. Dans le milieu académique, elle dépasse bien entendu la section 27 du Conseil National des Universités (CNU), avec des enseignements dans des cursus autres qu'informatiques et des activités de recherche dépendant d'analyses effectuées par des programmes informatiques dans potentiellement n'importe quelle section du CNU.

Un tel pouvoir implique donc d'importantes responsabilités. Comment s'assurer du bon fonctionnement de programmes informatiques ? Comment faciliter

1. johann.faouzi@gmail.com

la compréhension et la relecture du code source ? Comment travailler à plusieurs sur un projet ?

Les développeurs (de métier) se sont évidemment posé de telles questions et certains y ont apporté des réponses. Dans cet article, nous verrons de bonnes pratiques pour la programmation. Différents concepts seront présentés, avec des outils concrets pour appliquer ces concepts. Certains outils sont des logiciels gratuits et à code source ouvert, tandis que d'autres sont des services (mais qui proposent une version gratuite pour les projets à code source ouvert).

Je tiens à préciser que je n'ai aucun conflit d'intérêt avec les différents outils, notamment les services d'entreprises à but lucratif, présentés dans cet article.

2 Gestion du code source

Qui n'a jamais gardé les différentes versions d'un fichier, d'un code informatique ou d'un manuscrit avec une copie spécifique pour chaque version, avec la date et éventuellement la personne ayant fait les modifications dans le nom du dossier ou du fichier ?

Bien que cette approche est probablement la moins mauvaise pour certains types de fichiers et gérable si peu de versions différentes sont générées, elle est évidemment inadaptée au développement d'un logiciel à plusieurs sur le long terme. Des systèmes de gestion de versions ont donc été développés pour répondre à ces besoins.

2.1 Versionnement

Le versionnement du code source permet de garder, en plus du code source actuel, l'historique de tous les changements effectués. Chaque changement sauvegardé correspond à une version spécifique du code source, qui a donc un identifiant unique. Pour accéder à une version antérieure du code source, il suffit d'effectuer les changements « inverses ». Les avantages de la sauvegarde des changements au lieu des versions sont multiples : accès direct aux changements effectués à chaque version, comparaison aisée entre deux versions différentes, stockage beaucoup plus faible (notamment dans le cas de nombreux petits changements, ce qui est le cas en pratique pour le code source).

Il existe deux types de systèmes de gestion de versions : les systèmes à gestion centralisée et les systèmes à gestion décentralisée.

Dans un système à gestion centralisée, il n'existe qu'un seul dépôt des versions qui fait référence. La gestion des versions est simplifiée, mais au détriment du travail hors connexion au réseau et aux modifications expérimentales.

À l'inverse, avec un système à gestion de versions décentralisée, il y a toujours un dépôt qui fait référence (le dépôt distant sur un serveur), mais chaque développeur a également son propre dépôt local (sur son ordinateur), sur lequel il peut travailler de manière désynchronisée par rapport aux autres développeurs. Une autre particularité est que tout l'historique est également copié dans chaque dépôt local, ce qui permet d'effectuer davantage d'opérations localement. Le système à gestion de versions décentralisée permet enfin aux développeurs de partager leurs travaux locaux en proposant des modifications du dépôt distant, à partir de leurs dépôts locaux, qui peuvent être acceptées ou rejetées.

Le plus célèbre et populaire système de gestion de versions est git², qui est en gestion décentralisée. Il existe également d'autres systèmes à gestion de versions décentralisée tels que Mercurial³ et Bazaar⁴, et à gestion de versions centralisée tels que CVS⁵ et Subversion⁶.

À noter qu'il existe également des systèmes similaires pour d'autres types de fichiers, par exemple *Data Version Control*⁷ pour le contrôle de version des données. Les résultats de recherche ne dépendent évidemment pas que du code qui a permis d'analyser des données, mais également des données utilisées, d'où l'intérêt d'utiliser un tel système. Néanmoins, cet aspect ne sera pas davantage détailler dans cet article.

2.2 Disponibilité

Il était assez courant, pour un enseignant-chercheur, de partager le code source associé à une publication sur sa page web personnelle. Cette solution a plusieurs inconvénients évidents : nécessité de faire confiance aux fichiers mis à disposition, impossibilité de lire le code sans télécharger le fichier (voire toute l'archive), impossibilité de réutiliser le code sans le copier-coller dans son espace de travail. L'hébergement du code source sur des plate-formes spécifiques a donc un intérêt non négligeable.

Hébergement du code source

Le premier type d'hébergement est la version complète du code source, destinée principalement aux développeurs. Cette version complète inclut des élé-

2. <https://git-scm.com>

3. <https://www.mercurial-scm.org>

4. <http://bazaar.canonical.com>

5. <https://www.nongnu.org/cvs/>

6. <https://subversion.apache.org>

7. <https://dvc.org>

ments qui ne sont pas inclus dans les versions téléchargeables sur une archive, tel que l'historique complet des changements, les fichiers de configuration ou encore des fichiers liés à la documentation.

L'intérêt d'un service spécifique pour l'hébergement du code source, comparé à la page personnelle d'un enseignant-chercheur, peut être limité si une seule personne contribue au code, et que le code publié ne sera plus jamais modifié. À l'inverse, un projet avec plusieurs contributeurs ou qui peut évoluer au cours du temps nécessite un hébergement sur une plate-forme compatible avec le logiciel de gestion de versions utilisé (généralement git).

Parmi les services d'hébergement de code source les plus populaires, nous pouvons citer GitHub⁸, GitLab⁹, Bitbucket¹⁰ ou encore et SourceForge¹¹. Ces services proposent des fonctionnalités adaptées au système de gestion de versions, telles que l'accès à n'importe quelle version du projet ainsi que les propositions de modification du dépôt distant (appelées *pull requests* sur GitHub et *merge requests* sur GitLab).

Hébergement des versions du logiciel

En respectant quelques contraintes propres à chaque langage de programmation, il est possible de transformer son projet en un logiciel (aussi appelé paquet) que n'importe quelle personne pourra installer puis utiliser.

Chaque langage a généralement sa propre plate-forme. Citons par exemple le *Python Package Index*¹² (PyPI) pour Python, le *Comprehensive R Archive Network*¹³ (CRAN) pour R, ou encore le *Comprehensive T_EX Archive Network*¹⁴ (CTAN) pour T_EX. Ces plate-formes permettent aux utilisateurs de facilement installer de nouveaux logiciels, sans avoir à aller télécharger soi-même chaque logiciel sur la plate-forme et à les installer un par un. Citons par exemple le gestionnaire de paquets pip pour Python et la fonction `install.packages()` pour R.

N'importe quel développeur peut héberger son projet sur de telles plate-formes. À l'heure d'écriture de ces lignes, plus de 500 000 projets et plus de 5 millions versions sont disponibles sur PyPI, et plus de 20 000 projets sont disponibles sur CRAN.

8. <https://github.com>
 9. <https://gitlab.com>
 10. <https://bitbucket.org>
 11. <https://sourceforge.net>
 12. <https://pypi.org>
 13. <https://cran.r-project.org>
 14. <https://ctan.org>

2.3 Gestion sémantique des versions

Avec plusieurs versions disponibles d'un logiciel, il est nécessaire de fournir un numéro à chacune des versions qui reflète l'importance des changements effectués par rapport à la version précédente. On parle de gestion sémantique des versions¹⁵. Le texte suivant résume les points clés :

Étant donné un numéro de version MAJEUR.MINEUR.CORRECTIF, il faut incrémenter :

1. le numéro de version de MAJEUR quand il y a des changements non rétrocompatibles,
2. le numéro de version MINEUR quand il y a des ajouts de fonctionnalités rétrocompatibles,
3. le numéro de version de CORRECTIF quand il y a des corrections d'anomalies rétrocompatibles.

Des libellés supplémentaires peuvent être ajoutés pour les versions de pré-livraison et pour des méta-données de construction sous forme d'extension du format MAJEUR.MINEUR.CORRECTIF.

3 Style de code

Lorsque l'on écrit du code, une erreur courante est de se focaliser sur le fond et de négliger la forme. Un développeur n'a en effet pas besoin de mettre une belle forme pour comprendre le code qu'il écrit car il est logique dans son esprit à cet instant. Cependant, un code n'est écrit qu'une fois, mais est relu généralement plusieurs fois par des personnes différentes. Lorsque nous écrivons un article scientifique, nous ne l'écrivons pas pour nous-mêmes mais pour le partager avec la communauté. Il en va de même pour le code, qui est relu par des développeurs qui acceptent ou refusent les modifications proposées, mais aussi par d'autres développeurs une fois les modifications acceptées et intégrées.

En programmation, la forme est donc au moins aussi importante que le fond, voire plus importante. Des règles ont été développées pour définir les critères régissant une bonne forme. Il existe deux niveaux de formes : le *linting* et le formatage.

15. <https://semver.org/lang/fr/>

3.1 Linting

Les règles de syntaxe d'un style de code peuvent être nombreuses. Bien qu'elles deviennent naturelles avec la pratique, il n'est pas impossible d'en oublier et de ne pas remarquer des erreurs de syntaxe. De plus, ces règles ont été développées pour simplifier la vie des développeurs en les laissant se focaliser sur le fond au lieu de la forme, et non pas la compliquer en devant vérifier la forme. Des programmes informatiques ont donc été développés pour analyser automatiquement le code source et identifier le code ne respectant pas les règles d'un style de code.

Le *linting* est le processus d'analyse d'un code pour en réaliser la maintenance. Un logiciel permettant d'effectuer du linting est appelé un *linter*. Bien que les linters sont exécutés en ligne de commande, l'utilisation d'une interface graphique, par exemple via une extension dans un environnement de développement intégré, facilite grandement la tâche : le linter est exécuté continuellement en fond et les erreurs de syntaxe sont automatiquement affichées dans l'éditeur, permettant de les corriger plus facilement.

Par exemple, pour le langage de programmation Python, un style de code « officiel » a été défini. Son nom complet est *Python Enhancement Proposal 8 - Style Guide for Python Code*¹⁶, mais le style de code est plus connu sous l'acronyme PEP8. Des paquets Python ont été développés pour automatiquement analyser du code et identifier d'éventuelles erreurs de style PEP8, tels que Ruff¹⁷ et Flake8¹⁸. Des extensions permettant d'utiliser ces outils sont disponibles pour la majorité des environnements de développement intégrés les plus populaires.

3.2 Formateurs

Une limite importante des styles de code est qu'il est toujours possible d'écrire un même bout de code de plusieurs manières différentes. C'est également le cas des langues, avec par exemple la place du complément d'objet indirect en français. Voici deux phrases au contenu identique :

- En 1969, le premier homme a marché sur la Lune.
- Le premier homme a marché sur la Lune en 1969.

L'ordre des mots permet de mettre l'accent sur des éléments spécifiques dans des langues, mais un langage de programmation n'a pas cette propriété linguistique. Il est donc souhaitable d'uniformiser la syntaxe du code autant que possible,

16. <https://peps.python.org/pep-0008/>

17. <https://docs.astral.sh/ruff/>

18. <https://flake8.pycqa.org>

afin que la lecture du code permette de se focaliser sur le fond grâce à une forme (syntaxe) connue, courante et adoptée par un plus grand nombre.

Les formateurs permettent de répondre à ce besoin. Comme le nom l'indique, ils formatent automatiquement le code pour le rendre conforme à un style pré-défini. Citons par exemple le formateur Black¹⁹ pour Python.

4 Documentation

La documentation du code source est un concept essentiel du développement logiciel. Il existe deux principaux types de documentation : les commentaires, qui permettent d'expliquer des petits bouts de code et à destination des développeurs, et les documentations des fonctionnalités implémentées, à destination à la fois des développeurs et des utilisateurs. Le premier type étant assez explicite, nous nous focaliserons sur le second.

4.1 Documentation du code source

Il est essentiel de décrire, non seulement pour soi-même et mais aussi pour les autres, les fonctionnalités implémentées, comment elles sont censées être utilisées et quels résultats sont renvoyés. Cette pratique permet de faciliter la maintenance et la relecture du code source.

Tout comme il existe des styles pour le code, il existe des styles pour la documentation du code, avec les mêmes avantages à la clé : uniformisation du style, relecture facilitée et traitement automatique.

Toujours concernant Python, la *Python Enhancement Proposal 257 - Docstring Conventions*²⁰ (PEP257) a défini les bases de conventions pour les *docstrings* (raccourci pour *documentation strings*, c'est-à-dire les chaînes de caractères incluant les documentations des fonctionnalités implémentées). Néanmoins, les règles de la PEP257 sont trop vagues pour permettre un traitement automatique et efficace des *docstrings*. Deux principaux styles ont été développés pour compléter les conventions définies par la PEP257 : les styles NumPy²¹ et Google²².

19. <https://black.readthedocs.io>

20. <https://peps.python.org/pep-0257/>

21. <https://numpydoc.readthedocs.io/en/stable/format.html>

22. <https://google.github.io/styleguide/pyguide.html>

4.2 Documentation d'un logiciel

La documentation du code source s'adresse aux personnes qui vont lire le code source, c'est-à-dire principalement les développeurs. Cependant, les utilisateurs n'ont pas à devoir parcourir le code source pour accéder à la documentation d'une fonctionnalité : la documentation d'un logiciel est généralement disponible sur un site web ou sur un fichier PDF. De plus, les développeurs utilisant des langages de programmation pour leur recherche n'ont pas nécessairement des compétences poussées en développement web.

Fort heureusement, il existe des outils pour générer facilement et automatiquement la documentation d'un logiciel à partir d'un ensemble de fichiers écrits dans un langage de balisage léger (tel que reStructuredText ou Markdown). Le plus connu dans la communauté Python est probablement Sphinx²³, qui a été développé initialement pour la documentation officielle de Python. Un autre outil populaire est MkDocs²⁴. Pour le langage R, pkgdown²⁵ est couramment utilisé.

Il serait fastidieux de devoir réécrire la documentation des fonctionnalités dans la documentation d'un logiciel, alors que celle-ci a déjà été écrite dans le code. Il existe donc des outils pour générer automatiquement la documentation des fonctionnalités d'un logiciel, par exemple des fonctions et des classes en Python, à partir de la documentation du code source. Citons par exemple l'extension autodoc²⁶ pour Sphinx, mkdocstrings²⁷ pour MkDocs, et le paquet R roxygen2²⁸.

5 Tests

Les tests (à ne pas confondre avec les tests statistiques) sont essentiels au développement logiciel. Ils permettent de s'assurer que le code se comporte comme les développeurs s'y attendent : les erreurs ne sont levées que lorsqu'elles doivent être levées, et le résultat renvoyé correspond bien au résultat attendu.

S'il ne vous viendrait pas à l'esprit d'énoncer un nouveau théorème sans donner sa démonstration, ou d'appliquer un théorème sans vérifier que les hypothèses sont vérifiées, alors il ne devrait pas vous venir à l'esprit d'écrire du code sans donner des preuves qu'il marche correctement. De même, si vous n'accor-

23. <https://www.sphinx-doc.org>

24. <https://www.mkdocs.org>

25. <https://pkgdown.r-lib.org>

26. <https://www.sphinx-doc.org/en/master/usage/extensions/autodoc.html>

27. <https://mkdocstrings.github.io>

28. <https://cran.r-project.org/web/packages/roxygen2/vignettes/roxygen2.html>

de pas une confiance aveugle à n'importe qui dans la vie, vous n'avez aucune raison d'accorder une confiance aveugle à du code, aussi bien le vôtre que celui d'une autre personne.

5.1 Les différents types de tests

Il existe plusieurs catégories de tests, notamment :

- les *tests unitaires*, qui permettent de vérifier de petits bouts de code de manière isolée, afin de s'assurer qu'ils se comportent de la manière attendue;
- les *tests d'intégration*, qui permettent de vérifier que différentes fonctionnalités d'un projet interagissent bien à la fois entre elles mais aussi avec des outils extérieurs au projet;
- les *tests fonctionnels*, qui permettent de vérifier que les fonctionnalités de bout en bout renvoient des résultats cohérents.

Prenons un exemple concret pour illustrer ces différents tests. Imaginons que l'on a implémenté un algorithme itératif permettant de résoudre un problème d'optimisation. Les tests unitaires s'assureraient qu'une itération, à partir d'un point donné, renvoie bien le nouveau point attendu. Les tests d'intégration pourraient vérifier que notre algorithme est utilisable par une fonction générique qui permet de résoudre un problème d'optimisation en choisissant quel algorithme utilisé. Les tests fonctionnels vérifieraient que l'algorithme complet converge bien vers la solution attendue (à une certaine précision donnée, en lien avec la précision en virgule flottante) pour une fonction de test pour l'optimisation bien connue.

En Python, les paquets `unittest`²⁹, faisant partie de la bibliothèque standard, et `pytest`³⁰, sont les plus couramment utilisés.

5.2 La couverture de code

Plus un projet grandit, plus il devient difficile de savoir, manuellement, quelles parties du code sont testées et quelles parties ne le sont pas. De plus, il est toujours possible de se tromper (l'erreur est humaine), et même du code écrit pour les tests peut ne pas être exécuté (par exemple une instruction conditionnelle `Si Alors Sinon` où au moins un cas n'a jamais lieu). Il est donc nécessaire de

29. <https://docs.python.org/fr/3/library/unittest.html>

30. <https://docs.pytest.org>

pouvoir déterminer, de manière automatique, quelles lignes de code ont été exécutées (voire combien de fois chaque lignes a été exécutée), c'est-à-dire à quel degré les tests couvrent le code.

La métrique la plus couramment utilisée est la proportion de lignes exécutées. Cette métrique peut se calculer à différents niveaux de l'arborescence : pour tout le code source, pour chaque sous-dossier ou pour chaque fichier. Un graphique en rayons de soleil est couramment utilisé pour représenter visuellement la couverture de différentes entités d'un même niveau. Des rapports, par exemple au format HTML, permettent de facilement parcourir le code source et d'identifier les lignes exécutées (généralement surlignées en vert) et les lignes non exécutées (généralement surlignées en rouge).

En Python, plusieurs paquets sont disponibles, notamment *Coverage.py*³¹ et *pytest-cov*³². Cependant, il est nécessaire d'exécuter tous les tests d'un projet pour obtenir ces informations. Il existe donc des services en ligne, tels que *Codcov*³³ et *Coveralls*³⁴ qui permettent de publier ces informations et à n'importe qui d'y accéder sans avoir à exécuter les tests.

6 Intégration continue et déploiement continu

Nous avons vu qu'il existe un nombre important de règles que le code doit respecter, notamment l'adhérence à un style de code prédéfini, la présence d'une documentation suivant un style prédéfini, la présence de nouveaux tests, le succès de tous les tests, une couverture de code suffisamment haute, et la génération de la documentation sans erreur. Toute proposition de modification du code ne doit être acceptée que si toutes ces conditions sont toujours vérifiées après ladite modification. Il est donc nécessaire d'effectuer toutes ces vérifications, en plus de la relecture du code, avant de modifier le dépôt de référence du code source. Cette étape s'appelle l'*intégration continue*. Il est possible d'adopter également une stratégie de publication automatique de la nouvelle version dans l'environnement de production. Cette étape s'appelle le *déploiement continu*.

Il existe de nombreux services en ligne pour effectuer de l'intégration continue et du déploiement continu. Citons par exemple Azure Pipelines³⁵, Travis

31. <https://coverage.readthedocs.io>

32. <https://pytest-cov.readthedocs.io>

33. <https://codcov.io>

34. <https://coveralls.io>

35. <https://azure.microsoft.com/en-us/products/devops/pipelines>

CI³⁶, CircleCI³⁷, AppVeyor³⁸ ou encore Jenkins³⁹. Les services d'hébergement de code source, tels que GitHub et GitLab, proposent également leur propre service d'intégration continue et de déploiement continu.

Il est à noter que le déploiement continu est peu utilisé dans le monde académique. En effet, le déploiement continu implique, de manière implicite, que l'utilisateur n'a pas accès à la version exacte du logiciel qu'il utilise : le développeur veut que l'utilisateur ait toujours accès à la dernière version du logiciel (supposée être la meilleure). Le déploiement continu entraîne donc de nombreuses versions différentes du logiciel et une certaine opacité sur la version exacte du logiciel utilisé, ce qui n'est pas très compatible avec une recherche ouverte, reproductible et qui prend en général du temps à être développée. Une exception, d'actualité, est l'intelligence artificielle, où l'on assiste à une véritable course de vitesse entre des services concurrents.

Enfin, pour les logiciels à télécharger et à installer, le déploiement continu n'est pas forcément pertinent. En effet, lors du développement d'un logiciel, il est toujours préférable d'effectuer beaucoup de petites modifications plutôt qu'une grosse modification, notamment pour faciliter la relecture et le débogage. Des projets sur lesquels plusieurs dizaines de développeurs travaillent en même temps peuvent avoir plusieurs modifications de la version distante du code source par jour. Néanmoins, chacune de ces versions n'a pas à être distribuée au grand public : une nouvelle version publiée contient plusieurs petites modifications par rapport à la version précédente. L'ensemble des modifications (*changelog*) d'une nouvelle version est généralement indiqué.

7 Conclusion

Cet article a présenté plusieurs bonnes pratiques pour la programmation, qui sont des concepts classiques du développement logiciel : versionnage du code, hébergement du code, sémantique des versions du code, style de code, documentation du code, tests, couverture de code, intégration continue et déploiement continu. Des outils, utilisables pour les dépôts locaux et/ou distant du code, ont été mentionnés pour chacun de ces concepts, avec une focalisation sur Python pour les outils spécifiques à chaque langage de programmation.

Cet article a pour l'instant omis d'évoquer le coût nécessaire pour une utilisation, gratuite et à grande échelle, de ces outils pour les projets à code source

36. <https://www.travis-ci.com>

37. <https://circleci.com>

38. <https://www.appveyor.com>

39. <https://www.jenkins.io>

ouvert. Un célèbre dicton affirme que « *si c'est gratuit, c'est que le client est le produit* ». Ce n'est pas forcément le cas pour les entreprises à but lucratif mentionnées dans cet article (telles que GitHub et GitLab), qui génèrent des revenus grâce aux versions payantes pour les projets privés. Enfin, pour des outils qui n'ont aucune vocation à générer directement de l'argent (tels qu'un langage de programmation à code source ouvert comme Python), des financements importants restent nécessaires pour le développement des outils et la maintenance des infrastructures. Par exemple, le coût mensuel pour le maintien du *Python Package Index* était estimé à 1,8 millions de dollars en 2021.⁴⁰ Les entreprises et services permettant de maintenir en service le *Python Package Index* incluaient *Fastly*, *Google Cloud* et *Amazon Web Services*, qui couvraient entièrement ou partiellement les coûts d'utilisation de leurs services. Une expression plus adaptée serait donc : « *Si c'est gratuit, c'est que quelqu'un d'autre finance* ».

Johann FAOUZI



Johann FAOUZI est Professeur Assistant à l'École Nationale de la Statistique et de l'Analyse de l'Information (ENSAI) et effectue sa recherche au sein du Centre de Recherche en Économie et Statistique (CREST). Ses activités de recherche s'inscrivent autour d'aspects applicatifs de l'apprentissage automatique, notamment pour des données temporelles et des données médicales, ainsi que des logiciels à code source ouvert.

Email : johann.faouzi@gmail.com

Site web : <https://johannfaouzi.github.io>

⁴⁰. <https://dustingram.com/articles/2021/04/14/powering-the-python-package-index-in-2021>

ANNALES DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE

AST

**Annales de la Faculté
des Sciences de Toulouse**

MATHÉMATIQUES

 **REVUE EN
LIBRE ACCÈS
IMMÉDIAT**

- Tous domaines de mathématiques bienvenus
- Pas de limite de pages

 **COMITÉ
EDITORIAL**

- Marie-Claude Arnaud
- Frédéric Bayart
- Karine Beauchard
- Jérémy Blanc
- Jérôme Bolte
- Damien Calaque
- Reda Chhaibi
- Francesco Costantino
- Jean-François Coulombel
- François Delarue
- Clotilde Fermanian-Kammerer
- Gersende Fort
- Timothy Gowers
- Colin Guillarmou
- Charlotte Hardouin
- Ragu Ignat
- Pascal Maillard
- Vincent Pilloni
- Jasmin Raissy
- Samuel Tapie
- Romain Tessera
- Xavier Tolsa
- Alexis Vasseur
- Claire Voisin

**MEMBRE DU
CENTRE MERSENNE**



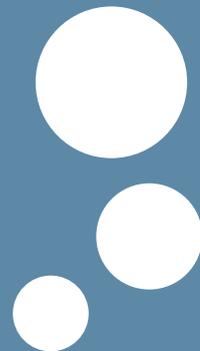
**RENSEIGNEMENTS
& SOUMISSIONS :**
afst.centre-mersenne.org

SOUTENUES PAR



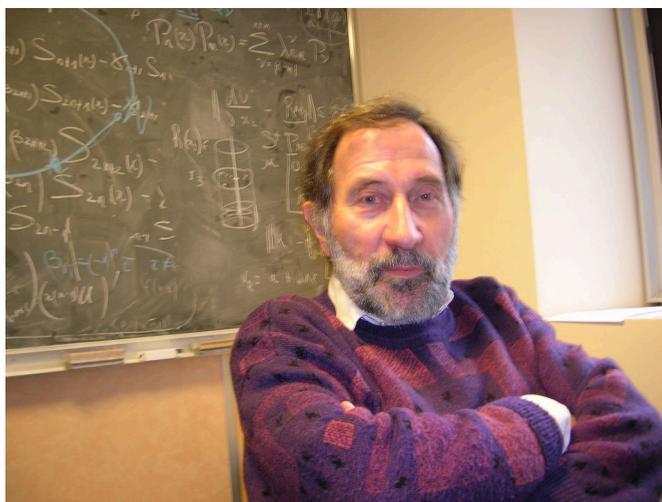
**UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER**

Pascal Maroni (1933-2024)



par :

*Claude BREZINSKI¹ — Laboratoire Paul Painlevé,
Université de Lille*



Pascal Maroni est décédé à Paris le 16 janvier 2024, un jour avant son 91^e anniversaire. Pascal était né le 17 janvier 1933 à La Chaux-de-Fonds, en Suisse. A dix-neuf ans, il vient à Paris étudier à la Faculté des sciences où il obtient une Licence de mathématiques en 1957, suivi d'un diplôme de mécanique céleste en 1958. Puis il entre au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en tant que chercheur à l'Institut Blaise Pascal. Il y soutient, en 1967, une Thèse de doctorat ès sciences mathématiques sous la direction de René de Possel, l'un des fondateurs et des premiers membres du groupe Bourbaki. Son titre était « Sur l'équation de Chandrasekhar ». Lors de la dissolution de l'institut, Pascal

1. claude.brezinski@univ-lille.fr

rejoint le Laboratoire d'analyse numérique (aujourd'hui Laboratoire Jacques-Louis Lions) à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris où il restera pendant toute sa carrière devenant Directeur de recherche au CNRS en 1998.

Pascal a d'abord travaillé sur les méthodes numériques pour les équations intégrales avec un intérêt particulier pour les quadratures gaussiennes, ce qui l'a conduit à la théorie des polynômes orthogonaux et des fonctions spéciales. Il était proche de Gérard Petiau, spécialiste reconnu de ces fonctions. Il commence à organiser un groupe de recherche, qui se réunit régulièrement dans son bureau, et à diriger des thèses en France, en Espagne, en Tunisie et au Portugal, où il est très apprécié. Il a également réussi à inviter plusieurs étudiants étrangers pour des séjours de travail avec lui à Paris. Ils se souviennent toujours de ceux-ci et sont toujours reconnaissants envers Pascal pour ses invitations.

Au fil des années, Pascal a construit une théorie algébrique des polynômes orthogonaux basée sur des notions issues de l'analyse fonctionnelle, un travail hautement reconnu par la communauté internationale, et souvent utilisé sans même le citer. Il a été l'un des organisateurs du premier congrès international sur les polynômes orthogonaux et leurs applications qui s'est tenu à Bar-le-Duc (France), du 15 au 18 octobre 1984. Il a participé à plusieurs Colloques d'analyse numérique annuels en France, et c'est à celui de Besse-en Chandesse (le village où se réunissait le groupe de Bourbaki dans les années 1950) que je l'ai rencontré pour la première fois en 1970. Il a également participé à plusieurs congrès internationaux où il a donné des conférences invitées. Il a publié une centaine d'articles et formé de nombreux élèves.

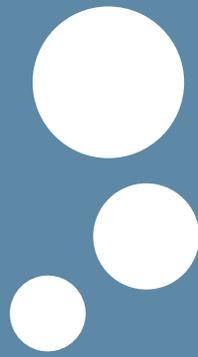
Pascal a également enseigné des cours de troisième cycle à l'École centrale de Paris, à l'Université Claude Bernard de Lyon et dans son propre laboratoire à Paris.

Pascal était un mathématicien très cultivé, dont les connaissances s'éten-
daient bien au-delà de ce domaine. Il s'intéressait à tout et était capable d'abor-
der presque tous les sujets. Il était chaleureux et lumineux.

Claude BREZINSKI

Claude BREZINSKI, Professeur émérite.

Jean Céa (1932-2024)



par :

*Mohamed MASMOUDI — Avec la contribution de
Olivier Pironneau et Denis Talay*

Jean Céa avait structur e sa vie autour d'une idée forte : rendre au centuple ce que l'école de la république lui avait donn e. Fascin e par Archimède et son engagement pour la cité, Jean avait opté pour un système de levier. Il ouvrait des brèches scientifiques et laissait les jeunes et moins jeunes s'y engouffrer, se les approprier, quand lui passait à la brèche suivante. En brillant bâtisseur de nouvelles structures, il arrivait à f ederer des forces vives autour de lui pour leur passer le flambeau rapidement et se lancer sur un nouveau projet. Et même, lorsqu'il est intervenu ces dernières années dans des activités de soutien scolaire dans les quartiers d efavoris es, il avait introduit une méthode redoutablement efficace et facile à reproduire.

Pour comprendre ce parcours, il faudrait remonter à son enfance et montrer le rôle essentiel qu'a joué l'école dans le devenir d'un enfant issu d'un milieu d efavoris e. Ses parents étaient immigr es d'origine espagnole, dans la campagne d'Algérie. Avec eux, il parlait toujours en espagnol. Il perdit son père, qui était « commis » dans une ferme, à l'âge de 8 ans. Sa mère n'avait aucune instruction scolaire et parlait à peine français. Elle travailla comme femme de ménage pour nourrir sa famille : elle-même, sa jeune s eur et ses quatre enfants. Ils connurent la misère pendant de nombreuses années.

Ces épreuves ont forg e le caractère de Jean et ont fait de lui celui que l'on connaissait : d etermin e, enthousiaste, optimiste et surtout généreux.

Les instituteurs ont joué un rôle majeur dans sa scolarité et avaient convaincu sa mère qu'il devait faire des études. Ils l'avaient pr epar e très sérieusement et gratuitement au concours d'entrée à l'École Normale d'Instituteurs d'Oran. Dans cet établissement, le professeur de mathématiques l'avait pr esent e au concours général de mathématiques : il avait obtenu le deuxième prix.

Une prise en charge complète lui avait permis d'aller en classes préparatoires au Lycée Chaptal à Paris pour tenter d'entrer à l'École Normale Supérieure de Saint-Cloud. Ce sera chose faite en 1953.

Ainsi, il bénéficia plusieurs fois des formidables ascenseurs sociaux qui existaient à l'époque! De même, ses voyages Oran-Paris furent financés par son village.

Ensuite, Jean commença une brillante carrière de chercheur propulsée par sa rencontre avec Jacques-Louis Lions à Nancy, dont il fut le premier thésard. On doit notamment à Jean le fameux lemme de Céa qui lui a permis de mettre en place les premiers outils d'analyse du calcul par éléments finis. En plus de cette contribution théorique, il fut l'auteur de l'un des tous premiers programmes d'éléments finis dans le monde des mathématiques appliquées. À cette occasion, il avait explicité le concept de matrices élémentaires qui rend la mise en œuvre de la méthode à la fois élégante, simple et efficace. Ce concept fait partie de la culture de base d'un ingénieur en éléments finis.

Tout cela se déroule dans un contexte variationnel avec des problèmes d'optimisation sous-jacents. Avec le même entrain, il avait ouvert de nouvelles brèches dans ce domaine. Son livre « Optimisation théorie et algorithmes » est une référence mondiale qui a été traduite dans plusieurs langues : anglais, russe, polonais, chinois... et ça l'amusait d'avoir eu entre les mains une traduction illégale en chinois. Le plus important pour Jean était que son livre soit utile.

Ensuite, une fois les méthodes de calcul et d'optimisation maîtrisées, le besoin de faire de l'*optimal design* vient naturellement avec l'introduction de ce que l'on appelle le gradient de forme. Jean avait pris le parti de travailler avec un grand nombre de paramètres géométriques. D'où la nécessité d'utiliser la méthode adjointe. Il avait introduit une méthode élégante pour sa mise en œuvre, à travers son article publié en 1986 dans M2AN.

Toutes ces contributions séminales ont donné un essor considérable à ces différents thèmes. C'est l'effet de levier.

En constatant que le gradient de forme, défini sur le bord, se prolonge d'une manière naturelle dans le domaine, il avait mis en place une méthode d'optimisation topologique en 1973, une quinzaine d'années avant que ce thème ne devienne populaire. Au-delà des résultats obtenus qui étaient tout à fait remarquables, Jean avait joué un rôle pionnier en présentant une contribution scientifique basée sur l'efficacité algorithmique. Il a fallu attendre un quart de siècle avant de voir des chercheurs s'engouffrer dans cette brèche. Jean était vraiment en avance sur son temps.

Aujourd'hui, la révolution de l'intelligence artificielle (IA) ne repose pratiquement que sur la pertinence des résultats numériques obtenus par l'optimisation.

Toutes ces méthodes conduisent à la résolution de problèmes de grande taille pour l'époque, alors que les capacités de calcul et surtout de mémoire étaient très limitées. La solution était d'utiliser des méthodes itératives. Le fait marquant est que ces méthodes se sont imposées jusqu'à aujourd'hui pour traiter les gros problèmes, malgré un énorme changement d'échelle!

Et parmi toutes les méthodes itératives disponibles, la méthode de relaxation avait été retenue à l'époque. Elle permettait une meilleure gestion de la mémoire en traitant les équations par petits paquets.

On peut remarquer que tous les ingrédients, pour mettre en œuvre les méthodes de l'IA, étaient là, sauf la puissance des ordinateurs. La relaxation, surtout sous sa forme parallèle, appelée « algorithmes asynchrones », n'est pas étrangère à la méthode du gradient stochastique en apprentissage. Celle-ci est aussi utilisée pour pallier la petite capacité mémoire des GPU (*Graphics Processing Unit*).

La méthode adjointe, appelée dans le contexte de l'IA rétropropagation du gradient, est un ingrédient indispensable, en raison de l'immensité des modèles neuronaux que l'on cherche à construire.

Il suivait la révolution de l'IA avec émerveillement. Il trouvait que l'idée de créer un modèle générique était formidable. Il avait fait quelques conférences grand public sur le sujet. Il aurait aimé avoir quelques années devant lui pour se jeter dans l'arène de l'IA, mais la vie en a décidé autrement.

En grand bâtisseur il créait des structures, pour servir les mathématiques. On peut citer : la création et l'association au CNRS du Laboratoire Jean Alexandre Dieudonné, la création de l'ESSI qui deviendra « Polytech'Nice-Sophia », la création du CIMPA, l'organisation de la première édition du Colloque d'Analyse Numérique (CANUM) en 1967...

En plus de cette école, il avait joué un rôle important dans le développement du site de Sophia Antipolis. A l'époque, la seule perspective pour un jeune mathématicien est de devenir enseignant. Il voulait que d'autres portes lui soient ouvertes.

C'était un enthousiaste de l'application des mathématiques à la vie réelle. Il était à l'origine d'une collaboration avec la société Sfernice, devenue Vishay. La collaboration avait porté sur le design de circuits électroniques en utilisant à la fois la méthode des éléments finis et les méthodes de *optimal design*. Cette collaboration avait marqué durablement le devenir de cette société. Elle était à l'origine, pendant une vingtaine d'années, de la moitié des revenus d'une société d'un millier d'employés.

Le point commun entre toutes ces créations est que Jean savait s'entourer de talents pour leur passer le relais, dès que la structure devenait viable. C'est l'effet de levier.

En organisant la première édition du CANUM, il avait transmis le témoin de l'édition suivante à l'Université de Grenoble. A l'époque, ce choix, qui n'était pas facile, avait pour objectif de dépasser les clivages et fédérer les forces en présence. Et lorsqu'il fut invité pour célébrer la 50^e édition de ce congrès, il était extrêmement heureux de constater que cet état d'esprit a perduré et que le Congrès de la SMAI fédère aujourd'hui l'ensemble des mathématiques appliquées. Une impulsion initiale qui perdure depuis un demi-siècle. C'est encore l'effet de levier.

Et lorsqu'il acceptait des responsabilités, c'était pour s'engager pour la communauté et pour faire un immense travail.

On peut citer la présidence du Conseil National des Universités. Ce conseil a un rôle consultatif auprès du gouvernement et décide de la promotion des enseignants-chercheurs. Ayant horreur de l'injustice, Jean avait fait en sorte que la promotion se fasse sur la base du mérite et non sur la base de l'appartenance thématique, la solution de facilité. Cet état d'esprit avait perduré après son départ.

Il avait joué un rôle structurant en prenant en charge la responsabilité des équipements informatiques des universités dans les années 80. A l'époque, l'université française disposait d'équipements inadaptés, importés par un lobby puissant et ce au prix fort. Jean avait pesé de tout son poids pour changer cette situation et mettre à la disposition de la recherche française des ordinateurs performants. Cela avait changé notre vie d'enseignants-chercheurs.

Jean ne courait pas après les honneurs et il lui arrivait de les éviter ou même de les refuser, sans le crier sur les toits. Il avait cependant obtenu le Prix Poncelet en 1975 et il était devenu membre de l'*Academia Europaea*.

Mais l'activité qui illustre le mieux l'état d'esprit de Jean fut, sans conteste, l'enseignement. Il délivrait des enseignements très variés allant jusqu'à la théorie des langages informatiques. Il n'aimait pas refaire le même cours plusieurs années de suite et lorsqu'il le faisait, il reprenait totalement le cours pour l'améliorer et le rendre plus accessible et plus clair. Il ne pouvait pas faire autrement. Les cours de niveau master étaient aux abords de la recherche.

Concernant son engagement de ces dernières années dans le soutien scolaire, il procédait de la manière suivante :

- Sélectionner des élèves motivés, même s'ils ont des notes modestes,
- Organiser les élèves en petits groupes pour travailler ensemble sans soutien extérieur,
- Coacher les mamans pour apprendre à encourager leurs enfants. Ce n'est pas l'usage dans certains milieux. On croit qu'il faut toujours dire que ce n'est pas assez.

Les élèves ayant au départ 8 de moyenne en maths, arrivent à 16 avec cette méthode. Et ce sans intervenir sur la formation des élèves. Il avait dédié un livre à cette expérience intitulé « Conseils à des mères admirables », où il avait écrit « Ce livre est dédié aux enragées, ces mères admirables, passionnées, qui veulent que leurs enfants réussissent par l'école, qu'ils changent de statut social, ces femmes qui s'accrochent alors que la vie est si difficile pour elles. Oui elles sont admirables! » En écrivant ces phrases, Jean ne se doutait pas que l'énergie de ces mères était le reflet de l'énergie qu'il avait su leur insuffler, jusqu'à la fin de sa vie.

Jean voulait développer cette méthode à une échelle plus large. Ce sera difficile, mais nous mettrons tout en œuvre pour que cette méthode se développe et perdure.

Toute la riche personnalité profondément humaniste de Jean et sa passion des mathématiques vivantes se retrouvent dans ses livres, notamment « Une Vie de Mathématicien, Mes émerveillements » publié aux éditions L'Harmattan.

On trouvera sur son site web

<https://www.jean-cea.fr/>

des exposés grand public d'une remarquable pédagogie. En particulier, son introduction à l'apprentissage profond est d'une grande limpidité et, bien évidemment puisque Jean en est l'auteur, n'élude pas les questions éthiques posées par l'IA.

Tous ces éléments illustrent l'effet levier que Jean mettait en œuvre pour rendre son action aussi utile que possible et à la différence du levier d'Archimède qui conserve l'énergie, celui de Jean la démultiplie.

Hedy Attouch (1949-2023)

par :

Michel THÉRA — Professeur Émérite à l'Université de
Limoges



Hedy Attouch, brillant élève au lycée de Saint-Germain-en-Laye a un moment hésité entre continuer des études supérieures et une carrière de footballeur professionnel, domaine dans lequel il a excellé dans les équipes minimes et cadettes du Saint-Germain-en-Laye FC. Sur l'insistance de son père, directeur d'école primaire à Versailles, il choisit finalement les études qui le conduiront, après le lycée Louis Le Grand, à l'École Normale Supérieure de Cachan. Son agrégation en poche, Jacques Deny, spécialiste de la théorie du potentiel, l'encourage à suivre une série de cours donnés à Paris VI par Haïm Brézis. Dans sa biographie ¹, Hedy écrit *avoir été fasciné par ce cours, où l'analyse fonctionnelle était mariée à des objets aussi mystérieux que les opérateurs monotones multivoques et les fonctions convexes semi-continues inférieurement, qui permettaient de résoudre de grandes classes d'EDP non linéaires.*

1. H. Attouch : to whom I am greatly indebted..., Journal of Convex Analysis, 17, 2010, 3-4, 681-699.

Haïm Brézis propose alors conjointement à Hedy et à Alain Damlamian (que je ne connaissais pas à cette époque, mais avec qui j'ai eu par la suite des relations à la fois scientifiques et amicales) un sujet de recherche commun dont l'idée principale était de combiner au sein d'une même inclusion différentielle, les méthodes de monotonie développées par Ky Fan avec une application à l'économie proposée par Claude Henry (un chercheur du Laboratoire d'Économie de l'École Polytechnique). Cette collaboration entre Hedy et Alain les a conduit à publier plusieurs articles en commun dont un travail fondateur concernant les équations d'évolution régies par des opérateurs sous-différentiels dépendants du temps..

La carrière académique d'Hedy commence en 1971 par l'obtention d'un poste de Maître de Conférences à l'Université Paris Sud, Orsay. Il soutient en 1976 sa Thèse d'État à Paris VI, et son second sujet de thèse (obligatoire à l'époque) sur la théorie des jeux coopératifs lui avait été donné par Jean-Pierre Aubin. Après sa thèse d'État, il obtient un congé sabbatique durant lequel il part aux États Unis où il rencontre plusieurs mathématiciens renommés : Louis Nirenberg au Courant Institute, Michael Crandall à l'université Madison, Felix Browder à Chicago, Terry Rockafellar à Seattle et Roger Wets à Lexington-Kentucky. C'est avec ce dernier qu'Hedy débuta une recherche coopérative active et fructueuse centrée sur plusieurs domaines interconnectés comme l'analyse épigraphique, l'analyse quantitative de la stabilité des systèmes variationnels, la convergence variationnelle des fonctions, les processus aléatoires multivoques et la loi épigraphique des grands nombres. C'est à partir de cette collaboration avec Roger Wets qu'Hedy a démontré un de ses fameux résultats par lequel sa renommée internationale a débutée : *étant donnée une suite de fonctions convexes semi-continues inférieurement et propres, la suite épi-converge vers une fonction convexe si et seulement si les graphes de leur sous-différentiels convergent (au sens de Mosco) vers le sous-différentiel de la fonction limite modulo une condition de normalisation qui fixe la constante d'intégration*. Pour les lecteurs que cela intéresse, les nombreux résultats obtenus durant ces années de coopération fructueuse avec Roger Wets sont consignés dans son livre² ainsi que dans un article que nous avons co-écrit à l'occasion d'un colloque international que nous avons organisé au CIRM³. Un autre résultat très important obtenu par Hedy qui est central en analyse convexe est le théorème de Attouch-Brézis qui donne une condition suffisante pour que la conjuguée de Fenchel de la somme de deux fonctions convexes semi-continues inférieurement soit égale à l'inf-convolution exacte de leurs conjuguées.

2. Variational convergence for functions and operators H. Attouch - Applicable Mathematics Series, Pitman 1984

3. Convergences en analyse multivoque et variationnelle, MATAPLI 36, 22-39 (1996)

Au tout début des années 80, Hedy est invité à Pise où une rencontre décisive a lieu avec Ennio De Giorgi, le fondateur de la théorie topologique générale de la Γ -convergence, théorie qui élargit considérablement le cadre des convergences variationnelles. Hedy a profité de ce séjour et de l'émergence de la théorie de l'homogénéisation pour réorienter ses recherches vers l'étude des lois de la physique des matériaux composites d'un point de vue macroscopique. En 1983, il devient professeur à l'Université de Perpignan où il est accueilli par Alain Fougères qui était intéressé à développer de nouvelles idées autour des fonctionnelles intégrales et de l'analyse variationnelle. Ce dernier lui proposa de créer un nouveau laboratoire centré autour de ces thématiques. C'est ainsi qu'est né le laboratoire AVAMAC « *Analyse Variationnelle and Applications to Mechanics, Automatics and Control* » dont Hedy prit la direction. Puis en 1988, il rejoint l'Université de Montpellier et plus précisément le *Laboratoire d'Analyse Convexe* où il est accueilli par le mécanicien Jean-Jacques Moreau, l'un des fondateurs avec Terry Rockafellar, de l'Analyse Convexe, et aussi par Charles Castaing, Michel Valadier tous les deux bien connus par leurs travaux sur l'analyse convexe, les fonctions multivoques mesurables et les mesures de Young. C'est dans ce laboratoire et dans cet environnement, où se sont joints plus tard Lionel Thibault et de nombreux autres, qu'Hedy a continué toute sa carrière jusqu'à sa retraite. Durant ces années montpelliériennes, il a formé de nombreux élèves, écrits de nombreux travaux et a participé à la transformation de la revue *Travaux du Séminaire d'Analyse Convexe de Montpellier* en une revue internationale de haut niveau, le *Journal of Convex Analysis*.

J'ai eu le plaisir d'accueillir Hedy au séminaire d'Analyse Non-linéaire et Optimisation que j'avais créé à Limoges en 1987, il fut l'un de mes premiers invités. La chance de mieux le connaître et de l'apprécier est arrivée quelques années plus tard lors d'un séjour commun à UCSD (University of California Davis) durant lequel nous avons noué une relation très amicale et très fructueuse mathématiquement. J'étais venu seul avec mes enfants, mon épouse n'ayant pas reçu l'autorisation de son employeur de s'absenter pour une longue période. Nous avions loué des appartements côte à côte et nous passions beaucoup de temps ensemble et Hedy et son épouse m'aidaient à m'occuper de mes enfants; nous partagions les repas, les excursions et nous jouions au tennis. C'est durant ce séjour qu'Hedy m'a convaincu de m'initier au golf au Davis Golf Course. Nous enseignions tous les deux, lui la programmation linéaire, et moi un cours de calculus. Ce séjour constituera pour moi un tournant dans mon approche des mathématiques qui jusque là était restée abstraite. Hedy qui avait plus que moi, une très bonne connaissance de la physique et de la mécanique, me poussait à regarder les mathématiques à partir d'une vision liée aux applications poten-

tielles. Nous avons rédigé ensemble plusieurs articles. L'un d'eux ⁴, concerne la notion de somme variationnelle pour les opérateurs maximaux monotones, un article pour lequel nous avons invité J.-B. Baillon à participer. Un autre article ⁵ concerne un concept général de dualité pour les problèmes non linéaires, concept qui englobe toutes les relations de dualité classiques comme Fenchel, Toland et Clarke-Ekeland. Ce résultat montre que le dual du problème dual est le problème primal, et le problème primal possède au moins une solution si et seulement si il en va de même pour le problème dual. Cet article, très bien cité dans la littérature comme le principe de dualité de Attouch-Théra, a été terminé lors d'une visite conjointe à l'Université de Montréal organisée par Francis Clarke.

Pris par diverses tâches administratives importantes, j'ai regretté (et je regrette toujours) de n'avoir pas accepté la proposition d'Hedy de participer à l'écriture de son livre ⁶ écrit avec Giuseppe Buttazzo et Gérard Michaille, en particulier pour la partie qui concernait la dualité.

Hedy s'est ensuite passionné pour de nouvelles thématiques avec un nombre impressionnant de différents collaborateurs : Samir Adly, Felipe Alvarez, Radu Bot, Luis Briceno-Arias, Zaki Chbani, Patrick Combettes, Roberto Cominetti, Jérôme Bolte, Marc-Olivier Czarnecki, Alexandre Cabot, Xavier Goudou, Juan Peyrouquet, Patrick Redont, Hassan Riahi, Marc Teboulle et bien d'autres. Ses recherches consistaient à étudier les approches en temps continu et discret et le développement de méthodes algorithmiques rapides pour des problèmes d'optimisation convexes et non convexes. Plus précisément, avec ses collaborateurs, il a obtenu des résultats très importants concernant l'algorithme du point proximal, les méthodes forward-backward, la convergence rapide de la dynamique inertielle et des algorithmes avec une viscosité asymptotique nulle, une méthode proximale inertielle pour les opérateurs maximaux monotones via la discrétisation d'un oscillateur non linéaire avec amortissement, les méthodes de minimisation et de projection alternées proximales basées sur l'inégalité de Kurdyka-Łojasiewicz, la convergence des méthodes de descente pour les problèmes semi-algébriques et tame et les méthodes de Gauss-Seidel régularisées. Malgré ses diverses invitations, je n'ai pas pu participer à ces travaux car j'étais moi-même engagé avec différents collaborateurs dans la théorie des bornes d'erreur, mais j'ai suivi de près le développement impressionnant de ses derniers résultats.

4. Variational sum of monotone operators, *Journal of Convex Analysis*, 1, 1994, 1, 1–29

5. Attouch, H. and Théra, M., A general duality principle for the sum of two operators, *J. Convex Anal.*, 3, 1996, 1, 1–24.

6. Variational Analysis in Sobolev and BV Spaces : Applications to PDEs and optimization, SIAM 2005

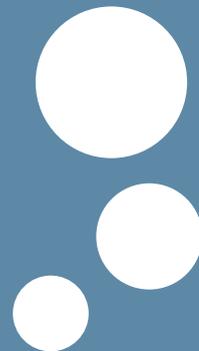
En 2021, Hedy a reçu le prix George-B.-Dantzig⁷ conjointement avec Michel Goemans *pour ses contributions fondamentales à l'analyse variationnelle moderne et à l'optimisation non continue, y compris les nouvelles notions de convergence variationnelle, l'introduction de nouvelles topologies pour l'étude de la stabilité quantitative des systèmes variationnels et leur application dans la conception et l'analyse d'algorithmes, les systèmes dynamiques et les équations aux dérivées partielles.*

Pour conclure, comment parler d'Hedy sans évoquer sa gentillesse, sa tolérance, sa bienveillance envers ses collègues, son aptitude à communiquer et partager. Il a contribué de façon exceptionnelle à la vie scientifique internationale en partageant avec enthousiasme son savoir et il laisse une œuvre mathématique significative que ses nombreux étudiants et collaborateurs devront perpétuer.

Hedy nous a quittés le 14 octobre 2023. Adieu Hedy, tu manques énormément à Annie ton épouse qui t'accompagnait dans tous les congrès auxquels tu étais invité, mais également à la communauté.

7. décerné tous les trois ans par la SIAM et le MOS

Prix Neveu : Percolation bootstrap et modèles cinétiquement contraints



par :

*Ivailo HARTARSKY¹ – TU Wien, Faculty of
Mathematics and Geoinformation, Wiedner
Hauptstraße 8-10, A-1040 Vienna, Austria*

TABLE DES MATIÈRES

| | | | |
|---|----|--|----|
| 1 Introduction | 49 | 4 Universalité raffinée des modèles critiques | 55 |
| 2 Définition des modèles .. | 50 | 5 Directions futures | 59 |
| 2.1 Percolation bootstrap | 50 | Références | 60 |
| 2.2 KCM | 51 | | |
| 3 Universalité grossière | 52 | | |

1 Introduction

Nous nous intéressons à deux groupes de modèles de physique statistique : la percolation bootstrap et les modèles cinétiquement contraints (KCM). Ils sont apparus indépendamment vers le début des années 1980 [10, 13, 14, 31] pour rendre compte de phénomènes aussi divers que la dynamique à basse température des matériaux magnétiques, la nucléation des cristaux, la propagation d’infection ou rumeur dans une population et la dynamique des fluides surfondu.

Ici nous nous focalisons sur ces modèles sur la grille carrée \mathbb{Z}^2 . Plus précisément, nous discuterons des travaux récents portant sur leurs aspects universaux qui est un sujet central et transversal en physique statistique. Il s’agit des traits (qualitatifs ou quantitatifs) du comportement du modèle qui sont indépendants de ses détails microscopiques, du moins au sein d’une sous-classe de modèles. Le but principal de ces études est de déterminer ces classes d’universalité, qui

1. ivailo.hartarsky@tuwien.ac.at

peuvent être dictées par des symétries du modèle, son caractère dirigé ou non, etc. Nous sommes tout particulièrement à la recherche des exposants critiques apparaissant lorsque le paramètre du modèle (température, densité initiale d'infection, etc.) tend vers sa valeur critique.

2 Définition des modèles

2.1 Percolation bootstrap

Un modèle de percolation bootstrap est défini par un entier strictement positif d (*dimension*) et une *famille de mise à jour* \mathcal{U} qui est une famille finie non-vide de sous-ensembles finis non-vides de $\mathbb{Z}^d \setminus \{0\}$ appelés *règles de mise à jour*. Étant donné un ensemble $A \subset \mathbb{Z}^d$, on définit *la transformation de bootstrap*

$$\mathcal{B}_{\mathcal{U}}(A) = A \cup \{x \in \mathbb{Z}^d : \exists U \in \mathcal{U}, x + U \subset A\}$$

avec $x + U = \{x + u : u \in U\}$. En mots, étant donné que l'ensemble A de *sites* est *infecté*, à la prochaine étape, on infecte de plus tout site tel qu'au moins une règle translatée en ce site est déjà entièrement infectée. Ce processus peut naturellement être vu comme un système dynamique en temps discret. Étant donné un ensemble de sites initialement infectés $A \subset \mathbb{Z}^d$, sa *clôture* est

$$[A]_{\mathcal{U}} = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} \mathcal{B}_{\mathcal{U}}^n(A),$$

où $\mathcal{B}_{\mathcal{U}}^n$ signifie $\mathcal{B}_{\mathcal{U}}$ itéré n fois et $\mathbb{N} = \{0, 1, \dots\}$ est l'ensemble des entiers naturels. On dit que A est *stable* si $A = [A]_{\mathcal{U}}$.

Pour donner un exemple, considérons le *modèle à r voisins*. Là on a $\mathcal{B}(A) = A \cup \{x \in \mathbb{Z}^d : |\{y \in A : y \sim x\}| \geq r\}$ avec $y \sim x$ si x et y sont voisins dans la structure de graphe usuelle de \mathbb{Z}^d . Alternativement, on peut voir ceci comme $\mathcal{B}_{\mathcal{U}}(A)$ avec \mathcal{U} la famille des $\binom{2d}{r}$ ensembles de r voisins de l'origine. C'est-à-dire, si n'importe quels r voisins d'un site sont tous infectés, ce site le devient également.

Jusqu'alors le processus est entièrement déterministe. On introduit l'aléa seulement dans la condition initiale, en prenant $x \in A$ indépendamment pour chaque $x \in \mathbb{Z}^d$ avec probabilité $q \in [0, 1]$. On note la loi de A par μ_q . Habituellement en physique statistique, on peut à présent introduire la *probabilité critique*

$$q_c = \inf\{q \in [0, 1] : \mu_q([A]_{\mathcal{U}} = \mathbb{Z}^d) > 0\}.$$

Puisque l'évènement ci-dessus est invariant par translation, l'ergodicité implique qu'en fait $\mu_q([A]_{\mathcal{U}} = \mathbb{Z}^d) \in \{0, 1\}$ pour tout $q \in [0, 1]$. Tandis que pour $q \leq q_c$ on

peut étudier la géométrie de $\mathbb{Z}^d \setminus [A]_{\mathcal{U}}$, dans le régime $q \geq q_c$ on peut souhaiter être plus quantitatif. À cette fin on introduit le *temps d'infection* (de percolation bootstrap)

$$\tau_0^{\text{BP}} = \min\{n \in \mathbb{N} : 0 \in \mathcal{B}_{\mathcal{U}}^n(A)\} \in \mathbb{N} \cup \{\infty\},$$

qui est une variable aléatoire, en posant $\min \emptyset = \infty$ de manière usuelle.

2.2 KCM

Les KCM sont définis également par leurs dimension $d \geq 1$, famille de mise à jour \mathcal{U} comme dans Section 2.1 et paramètre $q \in [0, 1]$. Le \mathcal{U} -KCM est un processus de Markov à temps continu avec espace d'états $\Omega = \{0, 1\}^{\mathbb{Z}^d}$, les zéros correspondant à des infections. On peut naturellement identifier toute configuration $\eta \in \Omega$ avec l'ensemble de ses infections (appelé A dans Section 2.1). La *contrainte en x* est donnée par

$$c_x(\eta) = \mathbb{1}_{\exists U \in \mathcal{U}, \forall u \in U, \eta_{x+u} = 0},$$

en écrivant η_x pour l'état du site $x \in \mathbb{Z}^d$ dans la configuration $\eta \in \Omega$. On écrit η^x pour la configuration obtenue en retournant l'état du site x dans la configuration η , c'est-à-dire $(\eta^x)_y = \eta_y$ pour tout $y \in \mathbb{Z}^d \setminus \{x\}$ et $(\eta^x)_x = 1 - \eta_x$.

On note $\mu_q = \mu$ la mesure produit de Bernoulli, telle que $\mu(\eta_x = 0) = q$, η étant une configuration aléatoire de loi μ . On note $\mu_x(f)$ l'espérance conditionnelle $\mu(f(\eta) | \eta_{\mathbb{Z}^d \setminus \{x\}})$ sur l'état de $x \in \mathbb{Z}^d$ d'une fonction réelle $f : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$. On peut maintenant définir le \mathcal{U} -KCM par l'action de son générateur sur les fonctions $f : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ dépendant seulement des états d'un nombre fini de sites

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\mathcal{U}}(f)(\eta) &= \sum_{x \in \mathbb{Z}^d} c_x(\eta) \cdot (\mu_x(f) - f)(\eta) \\ &= \sum_{x \in \mathbb{Z}^d} c_x(\eta) \cdot (q\eta_x + (1-q)(1-\eta_x)) \cdot (f(\eta^x) - f(\eta)). \end{aligned}$$

Ce processus peut également être défini par une construction graphique plus intuitive comme suit (voir [32] pour plus de contexte). Chaque site est muni d'un processus de Poisson standard (*horloge*) indépendant, dont les atomes sont appelés *sonneries*. Lorsque l'horloge en x sonne, on se donne de plus une variable aléatoire indépendante de loi μ_x (c'est-à-dire Bernoulli de paramètre $1 - q$). Si la contrainte c_x est satisfaite, la mise à jour est dite *légitime* et elle remplace l'état de x par celui de la variable. Dans le cas contraire (*mise à jour illégitime*) la configuration reste inchangée après la sonnerie. Puisque le nombre de sonneries est localement fini et les contraintes ont une portée finie, le processus est bien défini par cette

construction [32]. Il est clair que, pour chacune des deux définitions, la mesure μ est réversible et invariante pour le KCM, comme $c_x(\eta)$ ne dépend pas de η_x . Pour cette raison on appelle μ la *mesure d'équilibre*. On peut également remarquer que la mesure de Dirac sur la configuration entièrement saine $\mathbf{1}$ est invariante aussi.

La quantité d'intérêt principale est le temps (aléatoire) d'infection de l'origine

$$\tau_0 = \min \{t \geq 0 : \eta_0(t) = 0\},$$

$\eta(t)$ étant l'état du KCM en temps $t \in [0, \infty)$. On s'intéressera à τ_0 pour le processus stationnaire avec condition initiale de loi μ . Il existe plusieurs définitions naturelles du paramètre critique q_c pour un KCM, mais il s'avère qu'il coïncide avec celui de la percolation bootstrap avec la même famille de mise à jour [9]. Pour en avoir une intuition, on peut vérifier que la clôture de l'ensemble d'infections est laissée invariante par la dynamique du KCM correspondant.

3 Universalité grossière

Lorsqu'on parle d'universalité pour les modèles de percolation bootstrap (resp. KCM) notre but ultime est de pouvoir classer les familles \mathcal{U} de sorte que les éléments d'une même classe (d'universalité) aient des comportements macroscopiques identiques. Ici par comportement identique on entendra notamment avoir des τ_0^{BP} (resp. τ_0) de grandeur similaire lorsque $q \rightarrow q_c$. Bien entendu, une telle classification est satisfaisante seulement si elle permet, étant donnée une famille de mise à jour \mathcal{U} , de pouvoir déterminer à quelle classe elle appartient seulement à partir de sa géométrie et combinatoire. Sauf mention contraire, par la suite nous nous placerons exclusivement en deux dimensions.

Avant de définir les classes d'universalité grossière, nous avons besoin de quelques préparatifs. Soient $\|\cdot\|$ et $\langle \cdot, \cdot \rangle$ la norme et le produit scalaire euclidiens respectivement. Soit $S^1 = \{u \in \mathbb{R}^2 : \|u\| = 1\}$ le cercle unité. On appelle ses éléments *directions*. Le demi-plan ouvert de normale extérieure $u \in S^1$ est

$$\mathbb{H}_u = \{x \in \mathbb{Z}^2 : \langle x, u \rangle < 0\}.$$

DÉFINITION 1 : DIRECTION STABLE

Fixons une famille de mise à jour \mathcal{U} . Une direction $u \in S^1$ est *instable* s'il existe $U \in \mathcal{U}$ tel que $U \subset \mathbb{H}_u$ et *stable* sinon.

L'intérêt de cette définition vient du fait que $[\mathbb{H}_u]_{\mathcal{U}} = \mathbb{H}_u$ si u est stable et $[\mathbb{H}_u]_{\mathcal{U}} = \mathbb{Z}^2$ si u est instable (i.e. u est stable ssi \mathbb{H}_u l'est). Il n'est pas difficile de

vérifier que l'ensemble des directions stables est une union finie d'intervalles fermés de S^1 . Les extrémités d'intervalles de directions stables sont appelées *isolées*, si l'intervalle est réduit à un point, et *semi-isolées* sinon. Toute direction stable qui n'est ni isolée, ni semi-isolée est dite *fortement stable*. Pour des exemples illustratifs voir figure 1.

On est à présent en mesure de définir les classes d'universalité grossière.

DÉFINITION 2 : PARTITION D'UNIVERSALITÉ GROSSIÈRE

Soit $\mathcal{C} = \{\{v \in S^1 : \langle u, v \rangle < 0\} : u \in S^1\}$ l'ensemble des demi-cercles ouverts de S^1 . Une famille \mathcal{U} est :

- *surcritique* s'il existe un demi-cercle ouvert $C \in \mathcal{C}$ dont toutes les directions $u \in C$ sont instables. Si de plus
 - il existe deux directions stables non opposées, \mathcal{U} est *enracinée*;
 - il n'existe pas deux directions stables non opposées, \mathcal{U} est *déracinée*.
- *critique* si tout demi-cercle ouvert contient une direction stable et il existe un demi-cercle contenant un nombre fini de directions stables.
- *souscritique* si tout demi-cercle contient une infinité de directions stables. De plus, la famille \mathcal{U} est
 - *non triviale*, s'il existe une direction instable;
 - *triviale*, si toutes les directions sont stables.

Il est possible de montrer [6] qu'une famille de mise à jour \mathcal{U} est surcritique si et seulement si un grand disque infecté s'étend indéfiniment par la \mathcal{U} -percolation bootstrap (dans la direction donnée par le milieu du demi-cercle C). La famille \mathcal{U} est critique si un grand disque infecté peut s'étendre, à condition de rencontrer un nombre borné d'infections sur sa frontière à chaque étape. Les modèles triviaux sont ceux pour lesquels un grand disque sain n'est pas entièrement infecté par la percolation bootstrap. Enfin, pour les modèles enracinés un grand disque infectée ne peut pas engendrer d'infection à l'infini à la fois dans une direction et son opposée [33].

Avec ces définitions, l'universalité grossière est énoncée dans le résultat suivant et résumée dans la table 1.

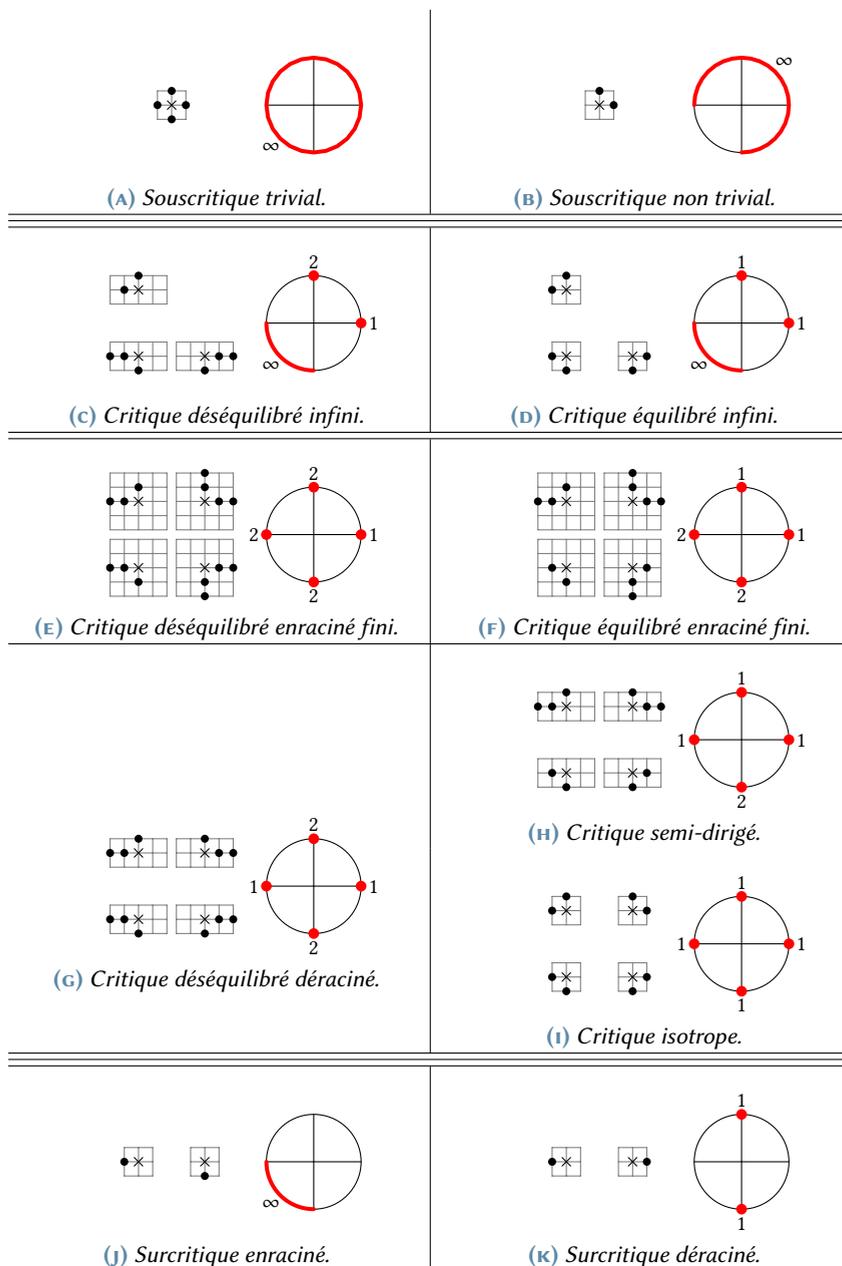


FIGURE 1 — Représentants des classes d'universalité. Les règles de mise à jour sont présentées à gauche avec \circ marqué par une croix et les sites de la règle marqués par des points. Les directions stables sont en gras sur la droite avec leurs difficultés indiquées. Les modèles critiques ont tous difficulté $\alpha = 1$.

| | Surcritique | | Critique | Souscritique | |
|----------------------|------------------|---------------------------|----------------------|--------------|----------|
| | Déraciné | Enraciné | | Non trivial | Trivial |
| q_c | 0 | 0 | 0 | $\in (0, 1)$ | 1 |
| τ_0^{BP} | $q^{-\Theta(1)}$ | $q^{-\Theta(1)}$ | $e^{q^{-\Theta(1)}}$ | ∞ | ∞ |
| τ_0 | $q^{-\Theta(1)}$ | $e^{\Theta(\log^2(1/q))}$ | $e^{q^{-\Theta(1)}}$ | ∞ | ∞ |

TABLE 1 — Résumé de Théorème 1 : paramètres critiques et temps caractéristiques des classes d'universalité grossière lorsque $q \rightarrow 0$.

THÉORÈME 1 : UNIVERSALITÉ GROSSIÈRE [1, 8, 33, 34, 35]

Soit \mathcal{U} une famille de mise à jour bidimensionnelle. Si \mathcal{U} est^a

- surcritique déracinée, alors $q_c = 0$, $\tau_0^{\text{BP}} = q^{-\Theta(1)}$ et $\tau_0 = q^{-\Theta(1)}$,
- surcritique enracinée, alors $q_c = 0$, $\tau_0^{\text{BP}} = q^{-\Theta(1)}$ et $\tau_0 = \exp(\Theta(\log^2(1/q)))$,
- critique, alors $q_c = 0$, $\tau_0^{\text{BP}} = \exp(q^{-\Theta(1)})$ et $\tau_0 = \exp(q^{-\Theta(1)})$,
- souscritique non triviale, alors $0 < q_c < 1$, $\tau_0^{\text{BP}} = \infty$ et $\tau_0 = \infty$ avec probabilité strictement positive pour q assez petit,
- souscritique triviale, alors $q_c = 1$, $\tau_0^{\text{BP}} = \infty$ et $\tau_0 = \infty$ avec probabilité strictement positive pour tout $q \in (0, 1)$,

où les asymptotiques sont vraies avec grande probabilité lorsque $q \rightarrow 0$.

a. Ici et dans la suite, pour une fonction réelle positive f , nous utilisons la notation asymptotique $\Theta(f)$ pour désigner une fonction g telle qu'il existe $c > 0$ tel que $cf(q) \leq g(q) \leq f(q)/c$ pour tout $q > 0$ assez petit.

Ce résultat fournit de premières informations sur les quantités d'intérêt. Informations qui méritent d'être affinées notamment dans le cas critique. Ce sera l'objet de la prochaine section.

4 Universalité raffinée des modèles critiques

Pour aller plus loin que Théorème 1 pour les modèles critiques, on a besoin d'affiner notre partition et la notion de direction stable (voir figure 1 pour des exemples).

DÉFINITION 3 : DIFFICULTÉ

Étant donnée une famille de mise à jour \mathcal{U} , la *difficulté* $\alpha(u)$ de $u \in S^1$ est

- 0 si u est instable;
- ∞ si u est stable, mais pas isolé;
- $\min\{n \in \mathbb{N} : \exists Z \subset \mathbb{Z}^2, |Z| = n, |[\mathbb{H}_u \cup Z]_{\mathcal{U}} \setminus \mathbb{H}_u| = \infty\}$ sinon.

La *difficulté* de \mathcal{U} est

$$\alpha = \min_{C \in \mathcal{C}} \max_{u \in C} \alpha(u).$$

On dit qu'une direction $u \in S^1$ est *difficile* si $\alpha(u) > \alpha$.

Les difficultés affinent non seulement la notion de direction stable, mais aussi celle des classes d'universalité grossière. Plus précisément, il n'est pas difficile [8] de vérifier qu'un modèle est surcritique ssi sa difficulté α est 0; critique ssi α est un entier strictement positif; souscritique ssi $\alpha = \infty$. La difficulté d'une direction stable isolée u quantifie combien d'infections supplémentaires sont nécessaires pour faire croître le demi-plan \mathbb{H}_u entièrement infecté. À titre illustratif, pour l'exemple de la figure 1g, la clôture du demi-plan ouvert de gauche plus l'origine est le demi-plan fermé; le demi-plan inférieur plus l'origine est stable, tandis que sa clôture avec $\{(0, 0), (1, 0)\}$ ajouté est le demi-plan fermé.

Notons de plus que la tâche de déterminer les directions stables ou la classe d'universalité grossière d'une famille de mise à jour est facile, tandis que calculer les difficultés des directions stables ou la difficulté globale d'une famille critique est moins immédiat. Plus précisément, il est possible de calculer α en temps fini, étant donné \mathcal{U} , mais il est NP-difficile de le faire [27]. Malgré la complexité de déterminer les difficultés, on les considérera données par la suite.

Avec Définition 3 à notre disposition, on peut définir toutes les notions qui apparaîtront dans la partition d'universalité raffinée.

DÉFINITION 4 : TYPES RAFFINÉS

Une famille de mise à jour bidimensionnelle est

- *enracinée* s'il existe deux directions difficiles non opposées;
- *déracinée* si elle n'est pas enracinée;
- *déséquilibrée* s'il existe deux directions difficiles opposées;
- *équilibrée* si elle n'est pas déséquilibrée, soit, il existe un demi-cercle fermé ne contenant aucune direction difficile.

On partitionne les familles équilibrées déracinées davantage en

- *semi-dirigées* s'il y a exactement une direction difficile;
- *isotropes* s'il n'y a aucune direction difficile.

On sera amené à considérer de plus la distinction entre modèles à nombre fini ou infini de directions stables (soit, sans ou avec une direction fortement stable). Les derniers sont nécessairement enracinés, mais peuvent être équilibrés ou non. Ainsi on se retrouve avec une partition de toutes les familles de mise à jour critiques en deux dimensions en sept classes représentées sur la figure 1 dont nous discuterons par la suite.

L'universalité raffinée en percolation bootstrap ne prend en compte que le caractère équilibré ou déséquilibré de la famille de mise à jour.

THÉORÈME 2 : UNIVERSALITÉ RAFFINÉE EN PERCOLATION BOOTSTRAP [8]

Soit \mathcal{U} une famille de mise à jour bidimensionnelle critique de difficulté α .
Si \mathcal{U} est

- déséquilibrée, alors

$$\tau_0^{\text{BP}} = \exp\left(\frac{\Theta((\log(1/q))^2)}{q^\alpha}\right);$$

- équilibrée, alors

$$\tau_0^{\text{BP}} = \exp\left(\frac{\Theta(1)}{q^\alpha}\right),$$

où les asymptotiques sont vraies avec grande probabilité lorsque $q \rightarrow 0$.

Le comportement des KCM à ce niveau de précision se relève beaucoup plus riche et intriqué. En effet, le résultat suivant, résumé dans Tableau 2, exclut des conjectures de [35, 37].

THÉORÈME 3 : UNIVERSALITÉ RAFFINÉE DES KCM [19, 21] (VOIR AUSSI [16, 22, 23, 25, 26, 35, 36])

Soit \mathcal{U} une famille de mise à jour critique en deux dimensions de difficulté α . Si \mathcal{U} est

- (a) déséquilibrée avec nombre infini de directions stables (donc enraci-

née), alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta((\log(1/q))^4)}{q^{2\alpha}}\right);$$

(b) équilibrée avec nombre infini de directions stables (donc enracinée), alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta(1)}{q^{2\alpha}}\right);$$

(c) déséquilibrée enracinée avec nombre fini de directions stables, alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta((\log(1/q))^3)}{q^\alpha}\right);$$

(d) déséquilibrée déracinée (donc avec nombre fini de directions stables), alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta((\log(1/q))^2)}{q^\alpha}\right);$$

(e) équilibrée enracinée avec nombre fini de directions stables, alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta(\log(1/q))}{q^\alpha}\right);$$

(f) semi-dirigée (donc équilibrée déracinée avec nombre fini de directions stables), alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta(\log \log(1/q))}{q^\alpha}\right);$$

(g) isotrope (donc équilibrée déracinée avec nombre fini de directions stables), alors

$$\tau_0 = \exp\left(\frac{\Theta(1)}{q^\alpha}\right),$$

où les asymptotiques sont vraies avec grande probabilité lorsque $q \rightarrow 0$.

Notons qu'en percolation bootstrap pour certaines familles de mise à jour critiques des résultats plus précis que le Théorème 2 sont à disposition [7, 11, 12, 20, 28]. A contrario, Théorème 3 est l'état de l'art pour tout KCM critique à l'exception de celui à deux voisins (voir [25], ou [24] pour un aperçu). L'unique famille pour laquelle ce résultat était connu au préalable est celle de Duarte [34].

| | Directions stables infinies | Directions stables finies | |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | Enraciné | Déraciné |
| Déséquilibré | (a) 2, 4, 0 | (c) 1, 3, 0 | (d) 1, 2, 0 |
| Équilibré | (b) 2, 0, 0 | (e) 1, 1, 0 | (f) 1, 0, 1 |
| | | | S.-dir. Iso. (g) 1, 0, 0 |

TABLE 2 — Classification des KCM critiques avec difficulté α du Théorème 3. Pour chaque classe $\tau_0 = \exp\left(\Theta(1)\left(\frac{1}{q^\alpha}\right)^\beta \left(\log \frac{1}{q}\right)^\gamma \left(\log \log \frac{1}{q}\right)^\delta\right)$ lorsque $q \rightarrow 0$. L'étiquette de la classe et les exposants β, γ, δ figurent dans cet ordre. Pour comparaison, $\tau_0^{\text{BP}} = \exp\left(\frac{\Theta(1)}{q^\alpha} \left(\log \frac{1}{q}\right)^{\gamma'}\right)$ avec $\gamma' = 2$ pour \mathcal{U} déséquilibré et $\gamma' = 0$ pour \mathcal{U} équilibré par Théorème 2.

Nous n'entrons pas dans l'heuristique sous-jacente du Théorème 3, mais renvoyons le lecteur intéressé à [19, Section 2] et [21, Section 2] pour une description détaillée des mécanismes et outils de nature analytique, combinatoire et probabiliste mis en jeu dans sa démonstration.

5 Directions futures

Terminons par quelques mots sur certaines des directions de recherche les plus naturelles en vue des résultats d'universalité présentés ci-dessus.

En ce qui concerne les modèles surcritiques, en vue de résultats d'indécidabilité [4], on peut principalement espérer des résultats plus précis en une dimension pour les KCM. Il serait nettement plus intéressant d'avoir des résultats hors équilibre (tant pour les modèles surcritiques que les autres), c'est-à-dire partant d'une condition initiale non pas distribuée selon la mesure d'équilibre μ . Les résultats généraux dans cette direction [30] sont encore limités au régime de haute température (q proche de 1), qui est physiquement peu significatif.

Une autre extension naturelle concerne les dimensions supérieures. L'analogue du Théorème 1 en dimension arbitraire pour la percolation bootstrap a été établi récemment [2, 3, 5] et l'on s'attend à ce que son analogue pour les KCM, tenant compte des modèles surcritiques enracinés, soit toujours valide. En vue de l'indécidabilité susvisée, on ne peut espérer un analogue du Théorème 2 (ou Théorème 3) en dimension arbitraire que possiblement pour les familles de résistance maximale (voir [3] pour la définition).

Enfin, les modèles souscritiques posent toujours de nombreux problèmes.

Parmi les plus importants on pourrait citer l'existence d'un moment exponentiel de τ_0^{BP} pour $q > q_c$ (voir [15, 18]), ainsi que le manque de compréhension pour le fait que la transition de phase peut être continue ou discontinue, selon la famille de mise à jour, même en deux dimensions (voir [29, 38]).

Remerciements

Ce travail a été financé par le Fond de Recherche Autrichien (FWF) : P35428-N. Nous tenons à remercier tout particulièrement Laure Maréché, Fabio Martinelli, Réka Szabó et Cristina Toninelli pour de nombreuses discussions sur ces sujets au fil des années et David Coupier pour des remarques sur la présentation. Le présent texte est adapté d'après Sections 1, 3 et 4 du résumé de la thèse de doctorat de l'auteur [17].

Références

- [1] P. BALISTER et al. « Subcritical \mathcal{U} -bootstrap percolation models have non-trivial phase transitions ». In : *Trans. Amer. Math. Soc.* 368.10 (2016), p. 7385-7411. ISSN : 0002-9947, 1088-6850. DOI : [10.1090/tran/6586](https://doi.org/10.1090/tran/6586).
- [2] P. BALISTER et al. « Subcritical monotone cellular automata ». In : *Random Structures Algorithms* 64.1 (2024), p. 38-61. ISSN : 1042-9832. DOI : [10.1002/rsa.21174](https://doi.org/10.1002/rsa.21174).
- [3] P. BALISTER et al. « The critical length for growing a droplet ». In : *Mem. Amer. Math. Soc.* (To appear).
- [4] P. BALISTER et al. « Uncomputability of the percolation threshold for monotone cellular automata ». In : (In preparation).
- [5] P. BALISTER et al. « Universality for monotone cellular automata ». In : *arXiv e-prints* (2022). arXiv : [2203.13806](https://arxiv.org/abs/2203.13806).
- [6] B. BOLLOBÁS, P. SMITH et A. UZZELL. « Monotone cellular automata in a random environment ». In : *Combin. Probab. Comput.* 24.4 (2015), p. 687-722. ISSN : 0963-5483. DOI : [10.1017/S0963548315000012](https://doi.org/10.1017/S0963548315000012).
- [7] B. BOLLOBÁS et al. « The sharp threshold for the Duarte model ». In : *Ann. Probab.* 45.6B (2017), p. 4222-4272. ISSN : 0091-1798. DOI : [10.1214/16-AOP1163](https://doi.org/10.1214/16-AOP1163).

- [8] B. BOLLOBÁS et al. « Universality for two-dimensional critical cellular automata ». In : *Proc. Lond. Math. Soc.* (3) 126.2 (2023), p. 620-703. ISSN : 0024-6115. DOI : [10.1112/plms.12497](https://doi.org/10.1112/plms.12497).
- [9] N. CANCRINI et al. « Kinetically constrained spin models ». In : *Probab. Theory Related Fields* 140.3-4 (2008), p. 459-504. ISSN : 0178-8051. DOI : [10.1007/s00440-007-0072-3](https://doi.org/10.1007/s00440-007-0072-3).
- [10] J. CHALUPA, P. L. LEATH et G. R. REICH. « Bootstrap percolation on a Bethe lattice ». In : *J. Phys. C* 12.1 (1979), p. L31-L35. ISSN : 0022-3719. DOI : [10.1088/0022-3719/12/1/008](https://doi.org/10.1088/0022-3719/12/1/008).
- [11] H. DUMINIL-COPIN et I. HARTARSKY. « Sharp metastability transition for two-dimensional bootstrap percolation with symmetric isotropic threshold rules ». In : *arXiv e-prints* (2023). arXiv : [2303.13920](https://arxiv.org/abs/2303.13920).
- [12] H. DUMINIL-COPIN et A. C. D. VAN ENTER. « Sharp metastability threshold for an anisotropic bootstrap percolation model ». In : *Ann. Probab.* 41.3A (2013), p. 1218-1242. ISSN : 0091-1798. DOI : [10.1214/11-AOP722](https://doi.org/10.1214/11-AOP722).
- [13] G. H. FREDRICKSON et H. C. ANDERSEN. « Facilitated kinetic Ising models and the glass transition ». In : *J. Chem. Phys.* 83.11 (1985), p. 5822-5831. ISSN : 1089-7690, 0021-9606. DOI : [10.1063/1.449662](https://doi.org/10.1063/1.449662).
- [14] G. H. FREDRICKSON et H. C. ANDERSEN. « Kinetic Ising model of the glass transition ». In : *Phys. Rev. Lett.* 53.13 (1984), p. 1244-1247. ISSN : 1079-7114, 0031-9007. DOI : [10.1103/PhysRevLett.53.1244](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.53.1244).
- [15] I. HARTARSKY. « \mathcal{U} -bootstrap percolation : critical probability, exponential decay and applications ». In : *Ann. Inst. Henri Poincaré Probab. Stat.* 57.3 (2021), p. 1255-1280. ISSN : 0246-0203. DOI : [10.1214/20-aihp1112](https://doi.org/10.1214/20-aihp1112).
- [16] I. HARTARSKY. « Bisection for kinetically constrained models revisited ». In : *Electron. Commun. Probab.* 26 (2021), Paper No. 60, 10. ISSN : 1083-589X. DOI : [10.1214/21-ECP434](https://doi.org/10.1214/21-ECP434).
- [17] I. HARTARSKY. « Bootstrap percolation and kinetically constrained models : two-dimensional universality and beyond ». Available at <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03527333>. Thèse de doct. Université Paris Dauphine, PSL University, 2022.
- [18] I. HARTARSKY. « Bootstrap percolation, probabilistic cellular automata and sharpness ». In : *J. Stat. Phys.* 187.3 (2022), Article No. 21, 17. ISSN : 0022-4715, 1572-9613. DOI : [10.1007/s10955-022-02922-6](https://doi.org/10.1007/s10955-022-02922-6).
- [19] I. HARTARSKY. « Refined universality for critical KCM : upper bounds ». In : *Comm. Math. Phys.* (To appear).

- [20] I. HARTARSKY. « Sensitive bootstrap percolation second term ». In : *Electron. Commun. Probab.* 28 (2023), Paper No. 29, 7. DOI : [10.1214/23-ECP535](https://doi.org/10.1214/23-ECP535).
- [21] I. HARTARSKY et L. MARÊCHÉ. « Refined universality for critical KCM : lower bounds ». In : *Combin. Probab. Comput.* 31.5 (2022), p. 879-906. ISSN : 0963-5483. DOI : [10.1017/s0963548322000025](https://doi.org/10.1017/s0963548322000025).
- [22] I. HARTARSKY, L. MARÊCHÉ et C. TONINELLI. « Universality for critical KCM : infinite number of stable directions ». In : *Probab. Theory Related Fields* 178.1 (2020), p. 289-326. ISSN : 0178-8051, 1432-2064. DOI : [10.1007/s00440-020-00976-9](https://doi.org/10.1007/s00440-020-00976-9).
- [23] I. HARTARSKY, F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Coalescing and branching simple symmetric exclusion process ». In : *Ann. Appl. Probab.* 32.4 (2022), p. 2841-2859. ISSN : 1050-5164. DOI : [10.1214/21-aap1750](https://doi.org/10.1214/21-aap1750).
- [24] I. HARTARSKY, F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Fredrickson-Andersen model in two dimensions ». In : *ESAIM Proc. Surveys* 74 (2023), p. 108-118.
- [25] I. HARTARSKY, F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Sharp threshold for the FA-2f kinetically constrained model ». In : *Probab. Theory Related Fields* 185.3 (2023), p. 993-1037. ISSN : 0178-8051. DOI : [10.1007/s00440-022-01169-2](https://doi.org/10.1007/s00440-022-01169-2).
- [26] I. HARTARSKY, F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Universality for critical KCM : finite number of stable directions ». In : *Ann. Probab.* 49.5 (2021), p. 2141-2174. ISSN : 0091-1798. DOI : [10.1214/20-AOP1500](https://doi.org/10.1214/20-AOP1500).
- [27] I. HARTARSKY et T. R. MEZEI. « Complexity of two-dimensional bootstrap percolation difficulty : algorithm and NP-hardness ». In : *SIAM J. Discrete Math.* 34.2 (2020), p. 1444-1459. ISSN : 0895-4801, 1095-7146. DOI : [10.1137/19M1239933](https://doi.org/10.1137/19M1239933).
- [28] I. HARTARSKY et R. MORRIS. « The second term for two-neighbour bootstrap percolation in two dimensions ». In : *Trans. Amer. Math. Soc.* 372.9 (2019), p. 6465-6505. ISSN : 0002-9947. DOI : [10.1090/tran/7828](https://doi.org/10.1090/tran/7828).
- [29] I. HARTARSKY et R. SZABÓ. « Generalised oriented site percolation ». In : *Markov Process. Related Fields* 28.2 (2022), p. 275-302. ISSN : 1024-2953.
- [30] I. HARTARSKY et F. TONINELLI. « Kinetically constrained models out of equilibrium ». In : *arXiv e-prints* (2022). arXiv : [2212.08437](https://arxiv.org/abs/2212.08437).
- [31] P. M. KOGUT et P. L. LEATH. « Bootstrap percolation transitions on real lattices ». In : *J. Phys. C* 14.22 (1981), p. 3187-3194. ISSN : 0022-3719. DOI : [10.1088/0022-3719/14/22/013](https://doi.org/10.1088/0022-3719/14/22/013).

- [32] T. M. LIGGETT. *Interacting particle systems*. Classics in mathematics. Originally published by Springer, New York (1985). Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. ISBN : 3-540-22617-6. DOI : [10.1007/b138374](https://doi.org/10.1007/b138374).
- [33] L. MARÊCHÉ. « Combinatorics for general kinetically constrained spin models ». In : *SIAM J. Discrete Math.* 34.1 (2020), p. 370-384. ISSN : 0895-4801. DOI : [10.1137/18M1231134](https://doi.org/10.1137/18M1231134).
- [34] L. MARÊCHÉ, F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Exact asymptotics for Duarte and supercritical rooted kinetically constrained models ». In : *Ann. Probab.* 48.1 (2020), p. 317-342. ISSN : 0091-1798. DOI : [10.1214/19-AOP1362](https://doi.org/10.1214/19-AOP1362).
- [35] F. MARTINELLI, R. MORRIS et C. TONINELLI. « Universality results for kinetically constrained spin models in two dimensions ». In : *Comm. Math. Phys.* 369.2 (2019), p. 761-809. ISSN : 0010-3616. DOI : [10.1007/s00220-018-3280-z](https://doi.org/10.1007/s00220-018-3280-z).
- [36] F. MARTINELLI et C. TONINELLI. « Towards a universality picture for the relaxation to equilibrium of kinetically constrained models ». In : *Ann. Probab.* 47.1 (2019), p. 324-361. ISSN : 0091-1798. DOI : [10.1214/18-AOP1262](https://doi.org/10.1214/18-AOP1262).
- [37] R. MORRIS. « Bootstrap percolation, and other automata ». In : *European J. Combin.* 66 (2017), p. 250-263. ISSN : 0195-6698. DOI : [10.1016/j.ejc.2017.06.024](https://doi.org/10.1016/j.ejc.2017.06.024).
- [38] C. TONINELLI et G. BIROLI. « A new class of cellular automata with a discontinuous glass transition ». In : *J. Stat. Phys.* 130.1 (2008), p. 83-112. ISSN : 0022-4715. DOI : [10.1007/s10955-007-9420-z](https://doi.org/10.1007/s10955-007-9420-z).

Ivailo HARTARSKY

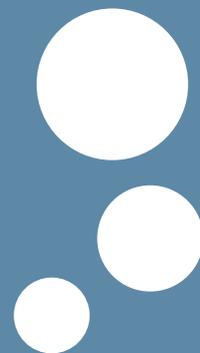


Ivailo Hartarsky a fait des études centrées sur les mathématiques et la physique au Lycée de Mathématiques de Sofia, au Lycée Louis-le-Grand et à l'École Normale Supérieure-PSL. Il a obtenu son doctorat en probabilités à l'Université Paris Dauphine-PSL. Il est actuellement postdoctorant à l'Université Technique de Vienne. Au-delà de sa recherche, ayant bénéficié de nombreux tels événements en tant qu'élève, il est dédié à l'organisation de concours et d'enseignements extrascolaires de mathématiques pour collégiens et lycéens en Bulgarie.

Email : ivailo.hartarsky@tuwien.ac.at

Site web : <http://www.normalesup.org/~hartarsky/>

Prix Irène Joliot-Curie « jeune femme scientifique » 2023 : Virginie Ehlacher



par :

*Tony LELIÈVRE — Professeur à l'École des Ponts
ParisTech, Directeur du CERMICS.*

C'est avec beaucoup de plaisir que je présente le parcours exceptionnel de Virginie Ehlacher, chercheuse au CERMICS (Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique), le laboratoire de mathématiques appliquées de l'École des Ponts ParisTech. Sa nomination pour le prestigieux prix Irène Joliot-Curie 2023 dans la catégorie « Jeune femme scientifique » témoigne de son début de carrière remarquable et de son dévouement envers l'avancement de la recherche en mathématiques appliquées.

Diplômée de l'École Polytechnique, Virginie intègre le corps des Ingénieurs des Ponts, des Eaux, et des Forêts en 2007. Sa passion pour les mathématiques s'est épanouie lors de son master de recherche à Sorbonne Université, où elle décide de s'engager dans une carrière académique. Après un stage de master dans le département Sciences des Matériaux du Massachusetts Institute of Technology, Virginie Ehlacher démarre son doctorat en mathématiques appliquées sous la supervision d'Eric Cancès et moi-même, intitulé « Quelques modèles mathématiques en chimie quantique et quantification de l'incertitude ». Elle obtient notamment des résultats remarquables sur l'analyse mathématique d'algorithmes gloutons utilisés pour la résolution de problèmes en grande dimension, thématique de recherche qu'elle continuera de développer par la suite. Après un post-doctorat à l'Université de Californie à Los Angeles et à l'Université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nürnberg en Allemagne, Virginie rejoint le CERMICS en 2013, et devient membre de l'équipe-projet INRIA MATHATERIALS. Elle obtient son Habilitation à Diriger des Recherches à l'Université Paris-Dauphine en 2020, et est Ingénieure en Chef depuis 2022.

Virginie Ehlacher a des contributions majeures dans trois domaines des mathématiques appliquées.

Son premier axe de recherche porte sur le développement de méthodes de réduction de modèles, visant notamment à diminuer considérablement le temps

de calcul d'études paramétriques. L'objectif d'une méthode de réduction de modèles est le suivant : il peut être parfois très coûteux en termes de temps de calcul de simuler les propriétés d'un système complexe modélisé par des équations aux dérivées partielles. Ce coût peut notamment devenir prohibitif dans des situations où la solution du modèle doit être calculée pour un très grand nombre de valeurs des différents paramètres intervenant dans le modèle. De telles études paramétriques sont néanmoins nécessaires, tout particulièrement dans des contextes industriels, par exemple lorsque les valeurs de ces paramètres doivent être calibrées de telle sorte que les simulations numériques reproduisent au mieux des données expérimentales. Une méthode de réduction de modèle consiste à construire, à partir d'un très petit nombre de simulations du modèle initial (correspondant à un petit nombre de valeurs des paramètres bien choisies), un modèle réduit du système, dont la résolution est beaucoup plus rapide et moins coûteuse d'un point de vue informatique, et qui permet d'obtenir une approximation suffisamment précise de la solution du modèle initial pour n'importe quelles autres valeurs des paramètres. Le développement de telles techniques (méthodes de bases réduites, *proper orthogonal decomposition*, représentation de la solution par des méthodes de faible rang, etc.) s'avère être d'une importance cruciale dans des contextes industriels, car elles sont sources de gains de temps et d'argent considérables. Ces thématiques l'ont amenée très naturellement à développer plusieurs collaborations avec des partenaires industriels, généralement sous la forme de co-encadrement de doctorants en thèse CIFRE. On peut notamment mentionner des collaborations avec Electricité de France (EDF) sur la simulation de composants de robinetterie du circuit hydraulique de refroidissement de centrales nucléaires et de problèmes de contact mécanique, ou avec le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) sur la simulation du transport des neutrons dans les réacteurs nucléaires. Virginie continue de travailler activement sur ces thématiques avec des entreprises pour lesquelles l'utilisation de jumeaux numériques est essentiel, notamment en ce moment avec SafranTech pour la simulation numérique du comportement mécanique de certaines pièces de moteurs d'avion.

Le deuxième axe de recherche de Virginie Ehlacher porte sur le développement de modèles mathématiques et de méthodes numériques efficaces pour simuler et optimiser le procédé de fabrication de cellules photovoltaïques à couches minces, qui est effectuée via un procédé de déposition par vapeur physique. Ce travail est issu d'une collaboration avec l'Institut Photovoltaïque d'Île-de-France au cours de laquelle Virginie a proposé un modèle mathématique pour simuler ce procédé et optimiser les flux des différentes espèces chimiques injectées dans la chambre chaude au sein de laquelle se trouve la couche mince, afin que

la composition chimique de cette dernière soit aussi proche que possible d'une cible désirée. Mathématiquement, il s'agit d'un modèle de diffusion croisée à plusieurs espèces, défini sur un domaine mobile, dont l'objectif est de décrire l'évolution des fractions volumiques locales de chaque espèce chimique au sein de la couche mince. Virginie est porteuse d'un projet ANR JCJC (projet CO-MODO) qui a démarré en 2020 et dont l'objectif est d'améliorer ce modèle afin de pouvoir simuler et optimiser le processus de fabrication de cellules courbes, qui ont vocation à être intégrées à un bâtiment au moment même de sa conception. Dans le cadre de ce projet, elle a développé plusieurs collaborations avec des collègues allemands et autrichiens comme Jan-Frederik Pietschmann ou Ansgar Jünger.

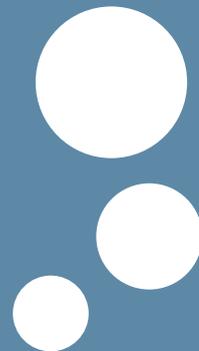
Enfin, le troisième axe de recherche de Virginie Ehrlacher porte sur le développement et l'analyse mathématique de nouvelles méthodes numériques qui permettent de résoudre très efficacement des problèmes de grande dimension. Parmi ces approches, citons les méthodes dites « de tenseurs » ou les méthodes PINN (Physically-Informed Neural Networks). Virginie étudie l'intérêt de ces méthodes pour divers domaines d'application en sciences des matériaux, notamment la simulation moléculaire et les équations cinétiques. Les équations cinétiques, comme le système de Vlasov-Poisson, permettent de modéliser par exemple l'évolution de plasmas dans les tokamaks ou le transport des électrons dans des matériaux semi-conducteurs. Virginie a proposé avec Damiano Lombardi des méthodes de tenseur pour ce type de problèmes qui ont permis d'obtenir pour la première fois des résultats numériques sur le système de Vlasov-Poisson par une méthode purement eulérienne en dimension 7. Virginie s'est par la suite penchée sur l'utilisation de telles approches pour la résolution de problèmes de transport optimal à plusieurs marges, issus d'applications liées au calcul de la structure électronique de molécules, et dont la simulation numérique s'avère ardue. Virginie a été lauréate en 2023 d'un projet ERC Starting Grant (HighLEAP, « *High-dimensional mathematical methods for Large Agent and Particle systems* ») qui va lui permettre de poursuivre le développement de cet axe de recherche.

En plus de son impact scientifique, Virginie Ehrlacher s'illustre également par son dévouement à l'enseignement. Chargée de cours à l'École des Ponts ParisTech, à Sorbonne Université et à l'École Polytechnique, elle s'engage activement dans la formation de la prochaine génération de mathématiciens et mathématiciennes. Sa supervision de nombreuses doctorantes et postdoctorantes est également un formidable encouragement pour des jeunes femmes talentueuses à poursuivre des carrières dans les mathématiques. Par ailleurs, elle est impliquée dans de nombreuses actions de médiation visant à promouvoir les sciences

auprès des collégiennes et des lycéennes.

En conclusion, la nomination de Virginie Ehlacher au prix Irène Joliot-Curie 2023 est un hommage bien mérité à une carrière brillante, à des recherches novatrices et à un parcours exemplaire qui, souhaitons-le, inspirera de nombreuses jeunes femmes à s'engager dans une carrière dans le domaine des mathématiques appliquées.

Du côté du réseau MSO-DE et des entreprises



par :

Christian GOUT¹ – CNRS FR3335 et INSA Rouen-LMI

Ariane ROLLAND² – CNRS, Institut Fourier et AMIES

LES SEMAINES D'ÉTUDES MATHÉMATIQUES - ENTREPRISES ET SOCIÉTÉ : UNE OPPORTUNITÉ POUR LES DOCTORANTES, DOCTORANTS EN MATHÉMATIQUES ET LES ENTREPRISES.

Les Semaines d'Etude Mathématiques – Entreprises et Société (SEMES) sont organisées par l'Agence pour les Mathématiques en Interaction avec les Entreprises et la Société (AMIES). Elles permettent de favoriser les liens entre la recherche académique et le monde socio-économique. En France, ce type d'initiative a été mis en place par le GDR Mathématiques Entreprises en 2011.

Les SEMES réunissent, autour de sujets exploratoires, des entreprises et des jeunes chercheurs (doctorat en cours ou récent). Des industriels viennent présenter des problèmes ouverts, dont la formulation même n'est pas toujours aboutie, sur lesquels travaillent de petits groupes de jeunes chercheurs pendant une semaine. L'objectif est de proposer des embryons de solutions ou des pistes possibles.

Cette expérience donnent aux entreprises l'opportunité de tester les bénéfices des mathématiques sur leur problématique. Les doctorantes ont des profils

1. christian.gout@agence-maths-entreprises.fr

2. ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr

variés allant des mathématiques fondamentales aux mathématiques appliquées et à l'informatique théorique. Cette mixité des compétences et des points de vue est un véritable atout pour répondre de manière innovante à la problématique proposée par l'entreprise. Le succès des SEMES repose aussi sur le fait que le bagage mathématique de base permet d'appréhender des questions très variées. En effet, quelque soit leur domaine de recherche, les doctorantes en mathématiques possèdent des capacités de formalisation poussées, même sur des domaines éloignés de leur sujet de thèse. De plus, la participation à une SEMES permet de développer la confiance en soit et en ses capacité à être utile aux entreprises.

Les SEMES sont organisées dans des laboratoires de mathématiques à raison de 3 à 4 par an et tous types d'entreprises peuvent y participer : de la start-up au grand groupe.

Les SEMES sont aussi un premier point d'entrée pour les entreprises n'ayant jamais collaboré avec le milieu académique ou hésitantes à passer le pas.

Les sujets proposés sont souvent très ouverts et les solutions proposées originales. Pour y parvenir, il est important que ces semaines brassent un public issu de spécialités diverses (modélisation par EDP, approches déterministes ou stochastiques, optimisation, probabilités, statistiques... sans oublier des aspects de calcul scientifique, ou même HPC). Les mathématiques étant naturellement liées à la quasi totalité des applications en liens avec la recherche partenariale, les thèmes abordés sont extrêmement larges : la modélisation et la simulation font partie intégrante des processus de fabrication, l'analyse des données et l'apprentissage statistique sont utilisés aussi bien pour améliorer les simulations que pour optimiser la logistique, le traitement d'images et le signal interviennent en médecine et géophysique, l'approximation de données permet de simuler de nombreux phénomènes réels... Une liste de sujets d'étude est données ci-après.

Les retours des industriels sur cet exercice sont très positifs. Les doctorants apportent une vision nouvelle et différente à leur problématique. Les représentants des entreprises prennent conscience et ont la preuve effective que les mathématiques peuvent être un bénéfice pour avancer sur leur projet. Cela peut également déboucher sur un projet de recherche ou un contrat avec le laboratoire organisateur ou un projet PEPS du Labex AMIES.

Pour les doctorants, les SEMES sont souvent le premier contact avec le monde industriel. Elles leur permettent à la fois de se rendre compte du type de problématique rencontrée par une entreprise mais aussi d'avoir un aperçu sur la manière de fonctionner d'une entreprise, les interactions, les impératifs de temps... et contribuer à la prise de conscience que le monde industriel est accueillant pour les doctorants!

Les SEMES font aussi partie du parcours de formation des étudiants : c'est une expérience reconnue et valorisée. Il est d'ailleurs recommandé aux participants de valoriser leur travail par un dépôt sur l'archive en ligne HAL, tamponné dans la collection SEMES d'AMIES. A noter également que certaines Ecoles Doctorales valident en crédit formation les heures passées en SEME.

Au-delà des aspects "savoir faire", les SEMES sont aussi une opportunité pour les étudiants et doctorants de développer des compétences issues du "savoir être", compétences utiles pour une insertion professionnelle dans le cadre industriel : le travail en groupe, débattre, produire un document avec des contraintes temporelles etc. Le problème ne se présente pas comme un exercice de mathématiques, mais une partie importante de l'exercice consiste à formaliser un ou des problèmes mathématiques qui encodent le coeur du problème industriel.

Quelques chiffres

- 38 SEMES ont été organisées depuis 2011
- 800 doctorantes et doctorants.e.s ont travaillé sur une problématique
- 170 entreprises ont proposé un sujet exploratoire.

Liste des SEMES

- Bientôt : Chambéry, Nantes, Grenoble, La Rochelle...
- Point-à-Pitre 2023
- Rennes 2022
- Troyes 2021
- Bordeaux 2020
- Montpellier 2020 et 2022
- Orléans 2020
- Orsay 2019 et 2023
- Poitiers 2018
- Lille 2018 et 2023
- Clermont-Ferrand 2017
- Lyon 2017
- Avignon 2016

- Nice 2016
- Besançon 2015 et 2019
- Nantes 2015
- Rouen 2014
- Strasbourg 2014, 2018
- Marseille 2014, 2016, 2019, et 2023
- Orléans 2014
- Limoges 2013
- Grenoble 2013 et 2016
- Nancy 2013
- Toulouse 2012 et 2019
- Lyon 2011
- Paris 2011, 2012, 2015, 2017, et 2022

Quelques sujets des SEMES

- Modèles de comparaison quantitative de matrices 3D
- Anticiper la formation de défauts sur les anodes des cuves à électrolyse utilisées pour fabriquer l'aluminium
- Optimisation robuste de la forme de la voilure d'un avion
- Réalisation d'un catalogue des débris spatiaux
- Conception d'un modèle statistique de freinage d'une voiture
- Adapter logiciel SPH (Hydrocécán) d'un modèle compressible à un modèle incompressible
- Échantillonnage numérique d'une fonction modélisant les états de mer dans la procédure de conception d'une éolienne *offshore*
- Optimisation d'un procédé dans la fabrication de fromages de chèvre
- Géométrie des matrices de covariances pour le traitement de signaux radars
- Assimilation de données pour le trafic routier
- Calcul d'ombres et d'occlusions dans une scène géométrique 3D
- Reconstruction de couches géologiques à partir de données discrètes

- Transformation d'un modèle 3d en une représentation 2d avant calcul d'usinage
- Détermination de la meilleure direction de maillage pour couverture d'une grande surface par un système satellitaire
- Amélioration de l'algorithme de détermination du positionnement de rampes lumineuses dans un stade de football à partir de données GPS
- Recalage d'images pour l'analyse de coupes tumorales
- Optimisation du positionnement de parcs solaires
- Procédé d'Injection Moulage des thermoplastiques : analyse de courbes temporelles et modélisation numérique
- Anticiper un suivi de charge de consommation électrique
- Schéma numérique pour la récupération assistée du pétrole par des procédés chimiques
- Classification de courbes et de données issues de l'aéronautique
- Analyse des prix de billets d'avion
- Reconstruction de prévisions de qualité de l'air à l'échelle régionale basée sur des systèmes urbains et inter-urbains
- Définition du risque de « défaut » des clients au crédit à la consommation
- Formulation de produits alimentaires fonctionnels
- Modélisation et prévision des temps d'échange en gare...



Doctorant-e-s

VALORISEZ VOS COMPÉTENCES
AVEC LES SEMES !

S

semaine

une semaine de travail en groupe pour trouver des solutions innovantes.

E

d'études

des sujets mathématiques exploratoires apportés par les entreprises.

M

mathématiques

optimisation, modélisation, statistique, calcul scientifique, probabilités ...

E

entreprises

des rencontres avec des entreprises qui ont besoin de maths.

S

et société

CHU, associations, collectivités et agences publiques ont aussi besoin de maths.



INITIER DES
COLLABORATIONS
MATHS & ENTREPRISES



COMPTE RENDU DU FORUM ENTREPRISES ET MATHÉMATIQUES

Le forum Entreprises & Mathématiques (FEM 2023) a eu lieu le **10 octobre 2023, au CNAM à Paris**.

Le site internet du FEM 2023 :

<https://2023.forum-entreprises-maths.fr/public/pages/index.html>

Les vidéos des tables rondes sont désormais en ligne :

<https://www.youtube.com/@amiesagencemathsentreprise675>

Merci à tous les participants, étudiants, doctorants, entreprises, associations, merci aux formations, aux sociétés savantes de mathématiques aux instituts de recherche d'avoir répondu présents au 12ème Forum Entreprises & Mathématique! Nous donnons ci-dessous quelques statistiques concernant les participants au FEM 12.

Au-delà des résultats présentés ci-dessous, il nous semble important de réfléchir à des propositions pour l'édition FEM 13 en 2024 afin que le ratio présents/inscrits soit amélioré (0.61 pour l'édition 2023 avec plus de 500 inscrits qui ne se sont pas déplacés).

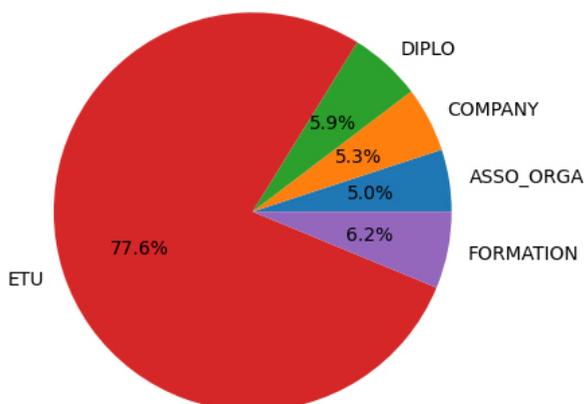


FIGURE 1 — Répartition des 834 présents au FEM 12. Les chiffres sont stables avec une majorité d'étudiants, et une participation 'équilibrée' entre académiques/entreprises/associations.

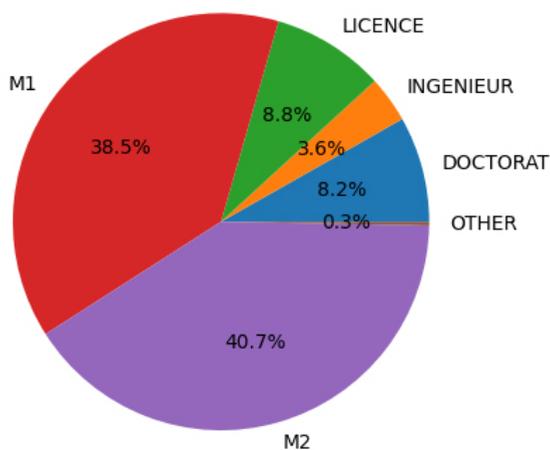


FIGURE 2 — Répartition des 696 étudiants présents au FEM 12. A noter une forte majorité (79,2%) d'élèves de Master.

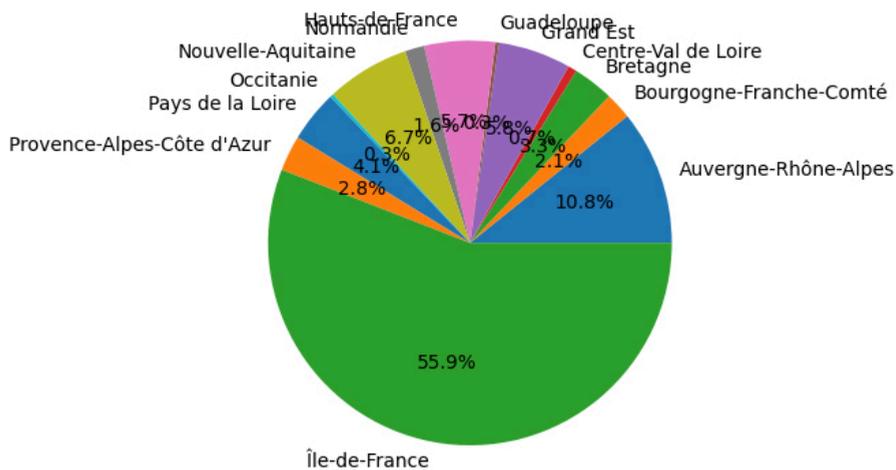


FIGURE 3 — Provenance géographique des participants. L'Île-de-France demeure logiquement le plus fort contingent.



Christian GOUT



Professeur en mathématiques à l'INSA Rouen Normandie, actuellement en délégation CNRS à la FR CNRS 3335, Christian GOUT travaille en traitement d'images, optimisation de formes et approximation de données.

Email :

christian.gout@agence-maths-entreprises.fr

Ariane ROLLAND

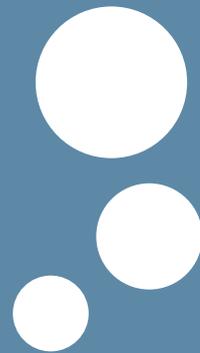


Ariane ROLLAND est Ingénieure d'études au CNRS. Elle travaille à l'Institut Fourier où elle est responsable du service information scientifique et technique et à AMIES où elle occupe la fonction de chargée de communication.

Email :

ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr

Lancement du site [phd-maths-entreprises.fr](https://www.phd-maths-entreprises.fr)



par :

Laurent RISSER¹ – CNRS, Institut de Mathématiques de Toulouse, AMIES

Ariane ROLLAND² – CNRS, Institut Fourier et AMIES

Jérôme LELONG³ – Grenoble INP - UGA, AMIES

Soutenus par les sociétés savantes de mathématiques SFdS, SMAI et SMF^a, AMIES^b et Redoc SPI^c annoncent avec enthousiasme l'ouverture du site internet "Docteurs mathématiques en entreprises" :

<https://www.phd-maths-entreprises.fr>

Ce site répond au besoin crucial de créer des ponts entre les doctorants en mathématiques et les entreprises en quête de compétences pointues. Il vise à faciliter cette connexion essentielle en offrant une plateforme dédiée à la mise en relation, à travers les outils *theses.fr* et *LinkedIn*. Il apporte aussi un ensemble de témoignages d'anciens doctorants travaillant aujourd'hui dans une entreprise, ces témoignages mettant en lumière des perspectives concrètes sur les débouchés professionnels des études en mathématiques.

a. SFdS : société Française de Statistiques, SMAI : Société de Mathématiques Appliquées et industrielles, SMF : Société Mathématique de France

b. AMIES : Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société, LabEx CNRS - UGA - INRIA

c. Redoc SPI : Réseau National des Ecoles Doctorales Sciences pour l'Ingénieur

1. laurent.risser@agence-maths-entreprises.fr

2. ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr

3. jerome.lelong@agence-maths-entreprises.fr

Genèse

L'histoire du site « Docteurs mathématiques en entreprises » débute en juin 2022 lorsque la direction d'AMIES est contactée par Alain Bamberger, président de l'association *Redoc SPI*. L'objectif de cette association est de promouvoir le doctorat en sciences pour l'ingénieur auprès des jeunes et des entreprises, l'outil clé de l'association étant un site internet proposant de nombreuses informations sur l'emploi des docteurs dans différentes disciplines des sciences de l'ingénieur⁴. En collaborant avec AMIES, Alain Bamberger souhaitait alors clairement mettre en avant les liens entre mathématiques appliquées et entreprises dans le cadre de l'association *Redoc SPI*. Afin de rendre concret ce beau projet, tout en collant au mieux à la communauté mathématique, AMIES a alors développé en collaboration avec Alain Bamberger le site “Docteurs mathématiques en entreprises”. Il a été mis en ligne fin 2023 par AMIES, avec le soutien de la SFdS, la SMAI et la SMF.

Repérer les docteurs

Comme illustré en figure 1, chaque onglet du menu de navigation principal du site vise un besoin distinct. En particulier, une caractéristique phare désirée du site est sa capacité à mettre en lumière les compétences uniques des docteurs en mathématiques. Dans l'onglet *Repérer les docteurs*, le site propose d'abord différentes requêtes afin de repérer des profils de docteurs et docteuses en mathématiques, via *LinkedIn*. Ces profils détaillés permettent de présenter leurs compétences techniques, leurs recherches antérieures et leurs expertises spécifiques. Il propose également des requêtes pour utiliser le site *theses.fr* et connaître la diversité des thèses en mathématiques effectuées en France. Via l'onglet *Témoignages*, il est enfin possible d'accéder directement à la rubrique “témoignages de docteurs” du site de *RedocSpi* qui recense des interviews d'anciens doctorants en sciences de l'ingénieur et en mathématiques embauchés dans le privé. Ces témoignages exposent leurs parcours de formation et leur entrée dans le monde professionnel.

4. <https://www.redoc-spi.org/>

DOCTEURS MATHÉMATIQUES EN ENTREPRISE

ENTREPRISES EMPLOYEURS – SECTEURS D'ACTIVITÉ – MÉTIERS

ACCUEIL REPÉRER LES DOCTEURS ▾ IDENTIFIER LES ENTREPRISES TROUVER LES MÉTIERS Offres d'emploi ▾ Témoignages

BIENVENUE SUR LE SITE DOCTEURS MATHÉMATIQUES EN ENTREPRISES

Ce site a été réalisé par AMIES à l'initiative de Redoc SPI, le Réseau national des Ecoles DOCTORALES Sciences Pour l'Ingénieur. Le réseau a mis en place un site web "Docteurs SPI en entreprises" qui publie des informations sur les entreprises qui emploient des docteurs, dans les disciplines des Sciences Pour l'Ingénieur, en s'appuyant sur LinkedIn. Le site "Docteurs mathématiques en entreprises" reprend l'idée originale en l'appliquant aux mathématiques. Il est soutenu par les trois sociétés savantes de mathématiques : SFdS, SMAI et SMF.

Il s'adresse :

- aux **doctorants et doctorantes** en mathématiques souhaitant trouver des opportunités d'emploi en entreprise.
- aux **recruteurs** à la recherche de profils mathématiciens, en particulier avec une première expérience dans le monde de la recherche académique.
- aux **étudiants et étudiantes** de niveau BAC à BAC+5 se demandant sur quels types d'emplois peuvent déboucher des études supérieures en mathématiques.

Vous trouverez sur ce site des conseils pour **optimiser vos recherches d'informations** et quelques exemples de résultats obtenus en suivant nos conseils de recherche. Des **témoignages d'anciens doctorants et doctorantes**, notamment en mathématiques sont de même donnés dans l'onglet "Témoignages" qui renvoie vers le site "Docteurs SPI en entreprises" .



FIGURE 1 — Page d'accueil du site "Docteurs mathématiques en entreprises"

Identifier les entreprises

Le site offre de même une vitrine aux entreprises recrutant des docteurs en mathématiques, permettant non seulement d'attirer des talents, mais aussi de souligner l'engagement de ces entreprises dans l'emploi de profils hautement qualifiés et spécialisés. En effet, l'onglet *Identifier les entreprises* propose deux démarches à suivre pour identifier les docteurs en mathématiques dans une entreprise prédéfinie, ainsi que les entreprises employant les docteurs issus d'une université donnée. De plus, l'onglet *Trouver les métiers* donne des exemples de requêtes pour identifier des offres d'emploi ou bien des profils *LinkedIn* liés à des métiers couramment exercés par des docteurs et docteurs en mathématiques. Notons enfin que l'onglet *Offres d'emploi* propose des requêtes génériques pour trouver directement des offres d'emploi sur *LinkedIn*, le site de l'*APEC*, ainsi que celui de *EU-Maths-In*.

En facilitant l'accès à des informations sur l'emploi en entreprises des docteurs en mathématiques, le site "Docteurs mathématiques en entreprises" comble ainsi le manque de visibilité sur les emplois industriels exigeant une expertise en mathématiques.

Laurent RISSER



Laurent RISSER est Ingénieur de Recherche (H.C.), expert en information statistique, au CNRS. Il est affecté à l'Institut de Mathématiques de Toulouse (IMT) et est membre du *Artificial and Natural Intelligence Toulouse Institute* (ANITI). Ses travaux actuels portent sur le contrôle et l'explicabilité des décisions de réseaux de neurones. Il est facilitateur AMIES pour la région Occitanie.

Email :

laurent.risser@agence-maths-entreprises.fr

Site web : <http://laurent.risser.free.fr/>

Ariane ROLLAND



Ariane ROLLAND est Ingénieure d'études au CNRS. Elle travaille à l'Institut Fourier où elle est responsable du service information scientifique et technique et à AMIES où elle occupe la fonction de chargée de communication.

Email :

ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr

Jérôme LELONG



Jérôme LELONG est est Professeur de Mathématiques à Grenoble INP - Ensimag - UGA et membre du Laboratoire Jean Kuntzmann. Ses activités de recherche portent sur les probabilités numériques et leurs interactions. Jérôme Lelong est également Directeur d'AMIES.

Email : jerome.lelong@agence-maths-entreprises.fr

Site web :

<https://membres-ljk.imag.fr/Jerome.Lelong/>

Les écoles d'ingénieurs à composante mathématique importante : épisode (8)

par :

Olivier LAFITTE – Responsable de la rubrique « Du côté des écoles d'ingénieurs »

CENTRALE MÉDITERRANÉE : L'OPTION CLIMATHS

par :

Jacques LIANDRAT – Centrale Méditerranée

Magali TOURNUS – Centrale Méditerranée

Thibaut LE GOUIC – Centrale Méditerranée



Une formation de 400 heures qui s'adresse aux élèves de 3^e année de Centrale Méditerranée, et aux élèves des autres écoles Centrale en mobilité en 3^e année.

Pourquoi CliMaTHs ? (Mathématiques et Modélisation pour le Climat, la Terre et l'Homme)

La jeune génération mobilisée. Fin 2018, le monde étudiant s'organise petit à petit et exprime ses inquiétudes face aux enjeux planétaires auxquels il va devoir faire face. Les jeunes descendent dans la rue et les étudiant.e.s reprochent à leurs formations d'être en décalage avec les problèmes qu'ils auront à résoudre dans leurs carrières futures. Le discours de Clément Choisine à la remise des diplômes de Centrale Nantes touche la sphère étudiante qui ne tarde pas à réagir. En septembre 2018, le texte du Manifeste Étudiant pour un Réveil Écologique est publié et est signé par plus de 30 000 étudiant.e.s français.e.s. Les étudiant.e.s en appellent aux entreprises, mais aussi aux responsables des formations : quel intérêt à détenir des engagements personnels (aller à l'école en vélo, privilégier le commerce local, etc.) si les sujets qu'ils étudient à l'école sont si éloignés de la réalité qui les attend ? La compréhension des problèmes qui menacent leur futur nourrit leurs préoccupations écologiques. Cette problématique est au centre de leur vie personnelle, et ils souhaitent qu'elle devienne également le centre de leur vie professionnelle.

Des ingénieur.e.s éclairé.e.s. En 2020, des journalistes se sont fondés sur un rapport de 2007 du département d'ingénierie civile et environnementale de Berkeley « Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation An Energy, Greenhouse Gas, and Criteria Pollutant Inventory of Rail and Air Transportation » pour modérer le fait que le train pollue beaucoup moins que l'avion. L'article original, qui s'intéressait au système américain, engageait à prendre en considération dans le calcul de l'évaluation du rejet carbone par passager non seulement le trajet lui-même, mais également la pollution générée par la construction des infrastructures, c'est-à-dire les gares et les rails. La remarque semble légitime, et on peut alors se demander jusqu'où aller dans la prise en compte des effets d'une activité sur la planète. Loin d'être anecdotique, ce fait journalistique soulève une question majeure : comment un.e ingénieur.e de bonne foi peut-il/elle prendre une décision éclairée face à la multitude d'informations contradictoires qui envahissent l'espace médiatique et littéraire, parfois même brouillées par des conflits d'intérêts financiers ? Un autre exemple marquant est celui du calcul du bilan carbone, c'est-à-dire l'évaluation de la masse de carbone émise par un individu ou une organisation d'individus (entreprise, pays, etc.). Si l'on admet que ce chiffre est un bon indicateur du caractère polluant d'une organisation, comment l'évaluer de la façon la plus « juste » possible ? Cela a-t-il du sens de discuter du bilan carbone d'une entreprise, ou doit-

on le faire à l'échelle de l'individu? Pour répondre à ce type de questions, une vision globale du problème est nécessaire. Elle fait intervenir des compétences en physique et en chimie, mais aussi en économie et en politique. Les mathématiques constituent une bonne approche pour les synthétiser. Il nous semble essentiel que les ingénieur.e.s de demain, qui travailleront potentiellement à des postes-clés dans les entreprises, aient l'esprit critique suffisant pour identifier les limites des indicateurs, et qu'ils aient des compétences scientifiques solides pour mener leur raisonnement et prendre des décisions éclairées.

Des formations qui évoluent avec le soutien des étudiant.e.s. La prise de conscience collective que nous avons pu observer durant l'année 2019 a également touché les établissements de l'enseignement supérieur. Les écoles d'ingénieur.e.s ont ainsi commencé à faire évoluer leurs programmes de formation pédagogique. Les administrations ont pris le relais des associations, les conférences organisées par les quelques étudiant.e.s sensibilisé.e.s s'accompagnent désormais de parcours optionnels complets, voire même de cours obligatoires sur le sujet.

Dans ce contexte, nous, Jacques Liandrat et Magali Tournus (I2M, ECM) avons créé avec l'aide des étudiant.e.s Aimée Boinnot, Valentin Boisard, Vianney Morain, Vincent Sommella (Centrale Marseille, option Digital.e 2020) l'option CliMaTHs, qui a ouvert en septembre 2020. Thibaut Le Gouic nous a rejoint en 2021 et participe depuis à l'organisation de l'option.

Les mathématiques, approche universelle, au centre de l'option CliMaTHs

Les mathématiques nous semblent être l'approche de choix pour aborder ces questions. D'une part, par essence, les mathématiques formalisent le raisonnement. Un modèle mathématique implique la clarification des axiomes supposés et des règles de déduction admissibles. D'autre part, la modélisation mathématique permet de faire communiquer des disciplines qui ont des façons différentes de représenter le monde, comme l'économie et la biologie. Une vision éclairée du monde exige le couplage entre ces différentes représentations. Nous citons la présentation des journées « Rencontre Maths-Industrie » qui s'est tenue à l'Institut Henri Poincaré à Paris, le 12 décembre 2019 : « Les mathématiques fournissent une approche qui permet de décrire, modéliser et simuler la complexité, à un moment où il est vital de pouvoir se représenter le monde dans un langage accessible à tous ». Enfin, la communauté mathématique française est

très concernée, par exemple via la création de l'Institut Mathématiques de la Planète Terre soutenu par le CNRS, ou encore son implication dans le groupe de recherche Labos 1point5. Nous pensons qu'il faut profiter de cet élan et y inclure la nouvelle génération d'étudiant.e.s.

Globalement, la formation que nous proposons répond à un besoin de la société et promeut une approche scientifique de haut niveau.

Le programme

Le but de l'option CliMaTHs est de former des ingénieur.e.s qui maîtrisent la modélisation, en insistant sur l'importance (ou non) du choix du modèle (discret ou continu ? déterministe ou probabiliste ?), et sur la hiérarchie et le couplage des modèles. Nous souhaitons donner aux étudiant.e.s des outils qui leur permettent d'analyser ces modèles, de prédire le comportement qualitatif de modèles simplifiés, et de simuler de façon rigoureuse ces modèles (le schéma numérique ou l'algorithme converge-t-il, si oui, vers la solution que l'on recherche ?). Nous souhaitons aussi qu'ils acquièrent les outils de traitement des données, et d'assimilation de données. Nous insistons aussi sur les conclusions que l'on peut tirer de ces études (critique des résultats, critique du modèle), et sur la prise de décision induites par les résultats obtenus. Ces compétences scientifiques sont développées à partir d'exemples concrets liés à la modélisation des problèmes environnementaux qui constitue l'outil principal pour aborder le futur de l'humanité. La notion de climat est à prendre ici au sens large : nous ne nous restreignons pas à la description des phénomènes physiques liés à la modélisation du climat, mais nous incluons dans notre approche les problèmes humains sociologiques, économiques, et écologiques. La formation s'articule en deux temps :

1. Modélisation en économie, écologie et climat ;
2. Comprendre les données pour appréhender le futur.

Quelques exemples de cours : Calcul Scientifique avec Python (24h), Optimisation (12h), EDP en biologie (24h), Apprentissage statistique (24h), Energie et Climat (35h, dispensées par Le Réveilleur), Analyse et simulation du trafic routier (12h), L'anthropocène et ses futurs (35h), Couplages de modèles : Economie, Ecologie et Société (12h), Valeurs extrêmes et climat (24h), Attestation bilan Carbone (38h) délivrée par l'Association Bilan Carbone. Ce dernier cours en particulier a été discriminant pour certain.e.s de nos étudiant.e.s en stage qui se sont vu.e.s confier des missions au-delà de celles des autres stagiaires.

Les intervenant.e.s sont en partie des enseignant.e.s chercheur.e.s de Centrale Marseille, mais en grande majorité des personnes venant de l'extérieur.

À qui s'adresse cette formation ?

Cette formation s'adresse non seulement aux étudiant.e.s souhaitant mettre la réflexion sur les enjeux climatiques et environnementaux au cœur de leur formation, et n'étant pas réfractaires à l'utilisation des mathématiques à cette fin, mais également aux étudiant.e.s sans attrait particulier pour les questions climatiques mais souhaitant se spécialiser dans les mathématiques. Ces étudiant.e.s peuvent suivre un M2 de maths en parallèle, en remplaçant les cours orientés 'climat' du parcours CliMaTHS par des cours du M2.

Nos étudiant.e.s

Nous avons limité la formation à une vingtaine d'étudiant.e.s (24 cette année) que nous avons sélectionnée. Ce faible effectif permet d'assurer une promotion cohérente (pas de choix dans les cours) et de ne pas multiplier les groupes de TD/TP. On note un équilibre (50-50) quant à la répartition homme/femme parmi les étudiant.e.s. Cette filière ouvre la porte à de nombreux débouchés dans le domaine de la transition énergétique, de la modélisation mathématique et de l'analyse de données.

On peut citer à titre d'exemples Paula G., en thèse au LSCE (Paris) sur les valeurs extrêmes en sciences du climat, Marjolaine L. en thèse au LVMT (Paris) sur les impacts sanitaires des pollutions de l'air, Hugo L. en thèse à l'I2M (Marseille) en théorie du transport optimal, Claire L. en CDI au dispatching chez RTE (St Quentin), Jean P. en thèse en recherche opérationnelle à l'ENSTA (Paris), Eliot C. en thèse en mécanique des fluides à IRPHE (Marseille), Cyprien T., Data scientist chez Calips Data Intelligence (Paris), Elisa N. ingénieure en construction durable chez Vinci (Nantes).

Ainsi, le marché semble prêt à recruter des ingénieur.e.s centralien.ne.s formé.e.s aux mathématiques et aux causes environnementales. Enfin, cette filière est particulièrement attirante pour les étudiant.e.s qui cherchent à donner un sens à leur parcours.

Jacques LIANDRAT

Professeur émérite, spécialiste de la théorie des ondelettes.

Magali TOURNUS

Maîtresse de conférence, mathématiques appliquées à la biologie.

Thibaut LE GOUIC

Maître de conférence, statistiques.

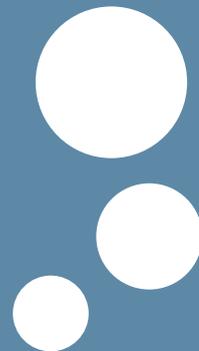


TABLE DES MATIÈRES

| | | | |
|--|----|--|-----|
| PARTIE : RENCONTRES ONDES ET APPLICATIONS 2023 | 91 | PARTIE : LE CJC-MA 2023 À CENTRALESUPÉLEC | 99 |
| PARTIE : SÉMINAIRE DE MODÉLISATION POUR LE VIVANT À RENNES 94 | | PARTIE : COLLOQUE 2023 DES DOCTORANTS DU LJAD | 104 |

RENCONTRES ONDES ET APPLICATIONS 2023

par :

*Arjeta HETA¹ — INRIA Bordeaux Sud-Ouest, EPI
Makutu (Pau)*

*Augustin LECLERC² — Laboratoire de Mathématiques
de l'INSA de Rouen
INRIA Bordeaux Sud-Ouest, EPI Makutu (Pau)*

Rencontres Ondes et Applications (ROA), deuxième édition

Le Laboratoire de Mathématiques de l'Insa de Rouen (LMI) et Makutu collaborent depuis de nombreuses années sur le thème des ondes et leurs applications

1. arjeta.heta@inria.fr

2. augustin.leclerc@insa-rouen.fr

dans la société. En 2022, les journées ROA ont été organisées pour la première fois à Rouen par et pour les doctorantes et doctorants, à l'initiative de Margot Sirdey (Makutu) et Théau Cousin (LMI). Leur objectif est de créer ou renforcer des liens entre les jeunes chercheuses et chercheurs de différents laboratoires (Makutu, LMI, et autres). Les ROA se composent d'exposés scientifiques et de moments de convivialité. En 2023, les ROA ont été organisées à Pau par Arjeta Heta (Makutu) et Augustin Leclerc (LMI, Makutu) (<https://team.inria.fr/makutu/events/rencontres-ondes-et-applications-2/>).

Les 29 et 30 juin 2023, nous avons réuni, au sein des locaux de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) et de distanciel par Zoom, une trentaine d'invités. Parmi eux, onze jeunes oratrices et orateurs francophones ont pu présenter leurs travaux portant sur différents problèmes d'ondes :

- **Lola Chabat** (Makutu INRIA) : « Effects of Cowling approximation on solar oscillations in radial symmetry »
- **Ibrahima Djiba** (Makutu INRIA) : « Méthode de décomposition de domaine basée sur une formulation de Trefftz pour l'acoustique hétérogène anisotrope »
- **Augustin Leclerc** (LMI INSA Rouen / Makutu INRIA) : « Modal computation for an open EM eigenvalue problem »
- **Theau Cousin** (LMI INSA Rouen / CEREMA Rouen) : « Tomographie électromagnétique pour le génie civil »
- **Arjeta Heta** (Makutu INRIA) : « Approximate Coupling Terms in Seismoelectric Theory : From Frequency Domain to Time Domain »
- **Nicolas Victorion** (Makutu INRIA) : « Optimized Finite Differences methods and Machine Learning to reduce numerical dispersion for the wave equation »
- **Julien Besset** (Makutu INRIA) : « Full Waveform Inversion of the Acoustic Wave Equation in GEOSX multiphysics simulator : Implementation through PyGEOSX and Proper Orthogonal Decomposition »
- **Maëlys Ruello** (ONERA Toulouse) : « Méthodes de propagation de type One-Way pour les équations de Navier-Stokes »
- **Roxane Delville-Atchekzai** (LJLL Sorbonne Université / CEA Cesta) : « Parallélisation d'une méthode OSM non locale pour l'électromagnétisme »
- **Matthias Rivet** (Makutu INRIA) : « Méthode des Différences Spectrales pour les problèmes de propagation harmonique : analyse d'erreur a priori 1D »

■ **Nathan Rouxelin** (LMI INSA Rouen) : « Schémas de post-processing pour les méthodes mixtes super-convergentes »

Cet intense programme scientifique a été ponctué par plusieurs moments conviviaux, pour pouvoir parler plus longuement sur certains sujets abordés lors des présentations, mais aussi pour nouer des liens entre les participants. Ainsi, sans parler des repas et pauses cafés partagés, nous avons clôturé ces deux journées en nous rendant au Complexe de Pelote Basque pour y découvrir les disciplines sportives locales.

Nous remercions chaleureusement la SMAI sans qui ce projet BOUM n'aurait pu être concrétisé. Nous remercions aussi l'UPPA pour nous avoir donné accès à ses locaux, et l'équipe Makutu qui a été d'une très grande aide pour l'organisation de cet évènement.

SÉMINAIRE DE MODÉLISATION POUR LE VIVANT À RENNES

par :

Valérie GARES³ – Université de Rennes

MARINE JACQUIER⁴ – Université de Rennes

Nathalie KRELL⁵ – Université de Rennes

Audrey LAVENU⁶ – Université de Rennes

*Hugo MARTIN⁷ – Université de Rennes & Institut
Agro*

Mise en place d'un séminaire de modélisation du vivant au laboratoire de mathématiques de Rennes

Genèse du projet

Les mathématiques appliquées au vivant sont en plein essor, en témoigne différentes équipes dédiées dans les universités et/ou centres de recherche à Paris, Lyon, Marseille, Toulouse ou Bordeaux par exemple. Cette tendance s'est traduite à Rennes par la fondation d'un **séminaire de bioinformatique**, plus axé méthodologie que modélisation. Cette dernière orientation concerne pourtant plusieurs dizaines de chercheurs et chercheuses à Rennes et ses environs, réparti-e-s entre différents laboratoires. Nous avons alors souhaité mettre en place un événement récurrent qui permettrait aux personnes intéressées par la modélisation de se rencontrer. Afin de favoriser l'établissement de ponts entre les différentes communautés scientifiques et montrer les possibilités d'un travail de modélisation, nous avons opté pour des sessions thématiques de deux exposés, l'un plutôt côté expérimental, l'autre plutôt axé modélisation, sur des sujets qui se répondent, afin de favoriser les discussions. Ce format est inspiré d'un type d'exposé en duo ayant eu lieu lors de la conférence **IBOMAN 2021**, dont la SMAI

3. valerie.gares@insa-rennes.fr

4. marine.jacquier@univ-rennes.fr

5. nathalie.krell@univ-rennes.fr

6. audrey.lavenu@univ-rennes.fr

7. hugo.martin@univ-rennes.fr

avait participé au financement. Compte tenu des contraintes de ces duos d'exposés, ces rencontres ont lieu mensuellement, et sont prolongées par une pause café pour favoriser les discussions.

Résumé des différentes sessions

Nous proposons dans cette section une présentation succincte des premières sessions du séminaire MoVi, qui se sont tenues de mars à juin 2023 dans l'amphithéâtre Lebesgue de l'Irmar.

Mars : mélange de variétés en agriculture

Le mélange de variétés en agriculture est une pratique très commune et ancienne. L'étude scientifique de cet usage est bien plus récent et en plein essor. Pour évoquer ce sujet, nous avons reçu Pauline Clin, qui avait été diplômée docteure de l'Institut d'Agro peu auparavant. Son exposé était intitulé *Taking advantage of pathogen diversity and immune priming to minimize disease prevalence in host mixtures*. Le deuxième exposé a été assuré par Israël Tankam (Institut Agro) dont l'exposé était *Optimal cassava variety mixture and mosaic disease epidemiology*.

Avril : épidémiologie

Nous avons profité du passage de Julien Arino à Rennes pour un jury d'HDR pour mettre en place une session autour de l'épidémiologie. Le premier exposé a été assuré par Pascal Crepey (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique de Rennes). Son exposé était nommé *Epidémiologie en crise, les données ne valent plus rien...* Sous ce titre un peu provocateur, Pascal Crepey nous a dépeint un historique de la valeur et les usages des données en santé publique, passant de rare et chère il y a encore quelques décennies à la situation actuelle, où les épidémiologistes croulent sous les données. Ensuite, Julien Arino (University of Manitoba) nous a présenté un exposé dont le titre était *Case introductions in the context of SARS-CoV-2 infections*. Via des modélisations stochastiques, celui-ci a étudié l'impact de la fermeture des frontières sur la propagation d'une épidémie.

Mai : transport intracellulaire

Cette séance « bonus » a pu se faire grâce à la visite de Sergei Fedotov (The University of Manchester) à Rennes. Son exposé, intitulé *Non-Markovian models for intracellular transport : theory and experiments*, s'appuyait sur une collaboration étroite avec ses collègues biologistes cellulaires. Il a discuté l'utilisation de

modèles non markoviens pour décrire le transport intracellulaire, avec des aller-retours fréquents entre les modèles et les données. Nous remercions Charles Kervrann de nous avoir proposé à son collègue de donner cet exposé.

Première séance de juin : croissance des embryons de vertébrés

Le 1er juin, Michèle Romanos (Institut Camille Jordan) seule a animé une séance dont le thème était *A multiscale bio-mathematical point of view on the growth of the vertebrate embryo*. Le fil rouge des deux exposés fut le développement embryonnaire, d'abord avec un modèle EDP, puis avec un modèle individu centré. Le premier s'intéressait à la ségrégation tissulaire, au moyen de simulation numérique et confrontation aux données expérimentales. Le second portait sur la zone progénitrice, et visait à comprendre l'hétérogénéité de l'expression de deux protéines, qui sont liées à la fois à la motilité cellulaire et la différenciation cellulaire.

Deuxième session de juin : recombinaison sur les chromosomes sexuels

Pour cette dernière séance de la saison, nous avons reçu Lorelei Boyer (Université Paris-Saclay) et Emilie Tezenas du Montcel (Université Paris-Saclay & Université de Lille & Université Paris Cité). Ces deux jeunes chercheuses ont travaillé ensemble sur les deux facettes expérimentales et théoriques de ce problème, ce qui a permis une grande complémentarité des exposés. La première nous a présenté la manière dont les strates de suppression de la recombinaison sont détectées et comment étudier cette hypothèse de manière empirique en comparant les inversions au sein des espèces. La seconde nous a présenté une modélisation développée pendant sa thèse pour étudier ladite hypothèse.

Poursuite du séminaire et perspectives

Porté par sa fréquentation stable, le séminaire de modélisation pour le vivant (MoVi) a vocation à se pérenniser. En effet, chaque session rassemblait en général dix et vingt personnes, d'horizons assez divers : IRMAR bien sûr, mais également Inria, Institut de Génétique & Développement, INRAE et Institut Agro, principalement.

Dès le mois de septembre 2023, le séminaire a repris, avec une session autour de la modélisation de maladies vectorielles, avec Pauline Ezanno (INRAE Nantes) et Frédéric Hamelin (Institut Agro de Rennes). Les prochaines sessions

prévues porteront successivement sur la classification en botanique et ses enjeux mathématiques et informatiques (Simon Castellan et Sophie Nadot), le modèle infinitésimal de Fischer (Sylvain Glémin et Amandine Véber) et l'imagerie (Youssef El Habouz et Perrine Paul-Gilloteaux). Par la suite, le rythme d'une session mensuelle sera maintenu, plus d'éventuels sessions « bonus » à la faveur de la visite de chercheurs ou chercheuses à Rennes.

Enfin, une piste à explorer pour varier le format pourrait être, si les financements le permettent de transformer une fois par an le séminaire en workshop d'une journée dans les thématiques du séminaire.

Valérie GARES



Valérie GARÈS est maitresse de conférences à l'INSA de Rennes. Ses travaux se concentrent essentiellement sur le développement de modèles statistiques s'inspirant pour la plupart de problèmes rencontrés lors de l'analyse des données cliniques ou épidémiologiques.

Email : valerie.gares@insa-rennes.fr

Site web :

<http://vgares.perso.math.cnrs.fr/index.html>

MARINE JACQUIER

Marine JACQUIER est maitresse de conférences à Rennes. Ses travaux portent sur la modélisation de processus biologiques principalement appliqués à la biologie cellulaire, grâce à des systèmes d'équations différentielles.

Nathalie KRELL



Nathalie KRELL est maitresse de conférences à Rennes. Ses travaux portent sur la modélisation de différents phénomènes biologiques (croissance de bactéries, systèmes de neurones en interaction) grâce à des processus de Markov déterministes par morceaux.

Email : nathalie.krell@univ-rennes.fr

Site web :

<https://perso.univ-rennes1.fr/nathalie.krell/>

Audrey LAVENU



Audrey LAVENU est maitresse de conférences HDR à l'Université de Rennes, responsable d'un master 2 de Méthodes en Pharmacologie Clinique, biostatistique et Épidémiologie à la faculté de médecine. Ses travaux concernent essentiellement le développement de modèles mathématiques de propagation d'épidémie et de modèles statistiques et d'apprentissage pour les données de survie.

Email : audrey.lavenu@univ-rennes.fr

Hugo MARTIN



Hugo MARTIN est postdoctorant à Rennes. Ses travaux portent sur l'émergence de phénomènes au niveau de la population à partir de comportements individuels, avec des applications principalement en biologie.

Email : hugo.martin@univ-rennes.fr

Site web : <http://hmartin.perso.math.cnrs.fr/>

LE CJC-MA 2023 À CENTRALESUPÉLEC

par :

*EQUIPE ORGANISATRICE DU CJC-MA 2023⁸ — L.
Anzeletti, T. Belin, T. Cavallazzi, E.M. Haress, J.
Kalfoun, T. Mocquet. Fédération de Mathématiques
de CentraleSupélec*

Entre les 25 et 27 septembre 2023, s'est déroulée la troisième édition du **CJC-MA** : le Congrès des Jeunes Chercheurs et Chercheuses en Mathématiques et leurs Applications. La Fédération de Mathématiques de CentraleSupélec a organisé l'évènement qui a accueilli près de 140 participants dont 50 orateurs et oratrices en sessions parallèles, ainsi que 25 posters.

Dans le cadre offert par le campus de CentraleSupélec, les participants ont présenté leurs travaux à un large public mathématique. Ce congrès promeut les échanges inter et intra-générationnels dans la communauté mathématique française. En effet, alors que la plupart des orateurs et oratrices des sessions parallèles et de posters en sont au début de leur carrière scientifique, les conférences plénières ainsi que les ateliers de discussions mathématiques sont animés par des chercheurs et chercheuses expérimentés. L'enjeu d'interdisciplinarité que se donne le congrès a été rempli au vu des nombreux domaines représentés : EDP(S), géométrie, analyse numérique, probabilités et statistiques. Les échanges scientifiques se sont prolongés lors de temps conviviaux ponctuant les trois jours.

Les interactions ont aussi concerné des questions d'orientation pour le jeune public puisqu'une table ronde sur les carrières dans la recherche a été organisée. Les thèmes traités concernaient la recherche académique, la recherche en entreprise, la liberté et l'autonomie dans la recherche, la valorisation du doctorat dans le monde de l'entreprise, les valorisations salariales, ainsi que les processus de recrutement dans différents milieux (Université, CNRS, Inria, privé).

Programme scientifique

Le théâtre Rousseau a accueilli trois exposés plénières qui ont rythmé les trois journées de la conférence. Hélène Mathis, professeure à l'Université de Montpel-

8. cjcma2023@emath.smai.fr

lier, a ouvert le congrès en présentant des modèles d'écoulements compressibles avec des bulles. Le deuxième jour, Damien Gayet, professeur à l'Institut Fourier de Grenoble, a parlé de percolation en lien avec la géométrie. Enfin Amandine Véber, directrice de recherche au CNRS, a clôturé l'événement en discutant de modèles stochastiques de dérive génétique pour des espèces avec une distribution spatiale.

Mardi soir, les discussions mathématiques, pendant lesquelles l'orateur ou l'oratrice propose une revue générale et introductive d'un domaine sur un ton informel (typiquement au tableau), ont avantageusement complété les thématiques abordées lors des conférences plénières : en EDPs, Ludovic Goudenège, chargé de recherche au CNRS, a présenté les liens entre les EDP et les probabilités. Dans le domaine de la mécanique des fluides, Anne-Laure Dalibard, professeure à Sorbonne Université, a présenté les dernières avancées du domaine. Enfin Christophe Giraud, professeur à l'Université Paris Saclay, a discuté de modèles mathématiques décrivant les réseaux de neurones utilisés en machine learning. Les cinquante oratrices et orateurs des sessions parallèles ont été répartis dans des sessions aux thèmes allant de l'analyse théorique des EDP aux approches géométriques du traitement d'image en passant par les statistiques et les probabilités.

Les contributions scientifiques de tous les participants ont été validées par le comité scientifique, présidé par Anne-Laure Dalibard et composé des membres suivants :

- Benjamin Boutin (Université de Rennes)
- Charlotte Dion-Blanc (Sorbonne Université)
- Christophe Garban (Université Lyon 1)
- Angèle Niclas (Ecole Polytechnique)
- Fabien Panloup (Université d'Angers)
- Nicolas Tholozan (Ecole normale supérieure de Paris)

Enfin la table ronde sur les carrières dans la recherche a été animée par Angèle Niclas, maître de conférences à Paris Cité. Elle a reçu et questionné un groupe représentatif de la recherche en France. Les maîtres de conférences Maria-Paula Gomez Aparicio au LMO et Flore Nabet à Polytechnique ainsi que le directeur de l'EDMH Stéphane Nonnenmacher ont parlé des perspectives d'une carrière académique. Irène Vignon-Clémentel, directrice de recherche à

Inria a mentionné les aspects du travail dans la recherche en organisme public en France et enfin Guillaume Pierrot, responsable scientifique chez IconCFD, a parlé de son environnement de recherche dans le privé.

Le programme de la conférence, les slides des intervenants ainsi qu'un mémo sur les carrières académiques se trouvent sur le site internet de la conférence : <https://cjcma2023.sciencesconf.org>.

L'assemblée du CJC-MA 2023 en quelques chiffres

Il est intéressant d'observer quelques variables statistiques concernant l'assemblée pour aider les futurs organisateurs de l'événement. Voici donc quelques chiffres-clés concernant les participants et participantes :

Distribution thématique des présentations (comptant les multiplicités pour les présentations interdisciplinaires) :

- EDP : 40
- Contrôle et optimisation : 7
- Probabilités : 12
- Statistiques : 9
- Géométrie : 5

Distribution des grades académiques de l'assemblée :

- Etudiants en master : 8
- Doctorant(e)s : 99
- Post-doctorant(e)s : 15
- Maîtres de Conférences : 9
- Séniors (Pr. ou DR/CR-CNRS) : 9

Sponsors

La SMAI est l'initiateur officiel du CJC-MA depuis sa première édition à l'école Polytechnique en 2021 et c'est par la Fédération de Mathématiques de



FIGURE 1 — *L'assemblée du CJC-MA 2023*

CentraleSupélec que nous avons répondu à l'appel à projet pour prolonger la saga du CJC-MA dont l'existence nous semble importante dans le paysage de la recherche mathématique en France.

Voici les sponsors du CJC-MA 2023 que nous remercions très chaleureusement pour leur soutien logistique et financier qui a permis à notre équipe de mettre sur pied l'évènement :

- La SMAI
- L'INSMI et le groupement de recherche CNRS MathSAV
- La Fondation Mathématique Jacques Hadamard et la Graduate School Mathématiques de l'Université Paris-Saclay
- La Fondation de CentraleSupélec et la Direction de la Recherche de CentraleSupélec

Le soutien des sponsors nous a, en outre, permis de financer tout ou partie des missions de 13 étudiantes et étudiants.

Conclusion

Les objectifs que nous nous étions fixés pour le CJC-MA ont été remplis. Il a permis de rassembler une partie de la grande communauté mathématique tant par générations que par domaines mathématiques. Un volume regroupant des actes de la conférence est en cours de rédaction et sa publication est prévue courant 2024. Nous sommes assurés que les éditions suivantes sauront être portées à leur plein potentiel aux quatre coins de la France.

COLLOQUE 2023 DES DOCTORANTS DU LJAD

par :

*Antoine COMMARET — Laboratoire J. A. Dieudonné et
Inria d'Université Côte d'Azur*

Victor IWANIACK — LJAD

Félix LOUBATON — LJAD

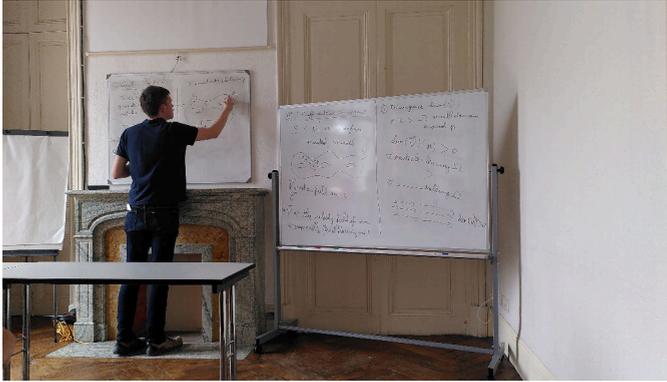
Alex MORIANI — LJAD

Athanasios VASILEIADIS — LJAD



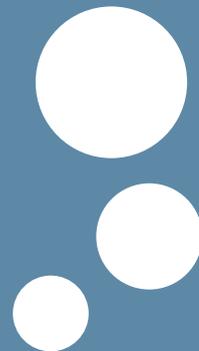
Chaque année, les doctorants du Laboratoire de mathématiques Jean Alexandre Dieudonné d'Université Côte d'Azur organisent un colloque de quelques jours pour les étudiants en thèse de mathématiques du laboratoire et du Centre Inria d'Université Côte d'Azur. C'est l'occasion rêvée pour rencontrer les autres doctorants habituellement disséminés sur le territoire maralpin.

En 2023, nous nous sommes retrouvés à la Villa Clythia (du CAES du CNRS) du 9 au 12 mai. Chaque jour, nous pouvions assister aux présentations des premiers travaux de recherche des doctorants dans une ambiance bienveillante. Le spectre de sujets abordés fut aussi large que les échanges mathématiques nombreux. Chacun a pu s'adonner à l'exercice de présenter son travail devant un public intéressé souvent non spécialiste et se prêter au jeu des questions-réponses.



Nous avons de plus eu la chance d'accueillir deux intervenants extérieurs à nos institutions. Yacin Hamami, de l'Université de Liège et Antonio Piccolomini d'Aragona, de l'Université de Sienne ont dispensé deux cours complémentaires sur la philosophie des mathématiques. En interrogeant nos intuitions quotidiennes, ils nous ont amené à repenser nos acquis. Qu'est-ce qu'une preuve? Que signifie comprendre un énoncé mathématique? Nous repartons de la Villa Clythia forts de concepts solides utiles à tout mathématicien.

Outre ces activités studieuses, nous avons pu profiter du superbe cadre de l'Esterel dans le temps qui nous restait libre. Les échanges mathématiques reprenaient au milieu des roches ocre, avec vue sur mer.



par : _____
Cécile LOUCHET¹ – Université d'Orléans

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 RECHERCHE

► *Habilitation soutenue par* : **Eric LUÇON**

Asymptotiques en grande population et temps long de perturbations aléatoires de modèles de champ-moyen

*Soutenue le 31 janvier 2024
Université Paris Cité*

Résumé :

Cette HDR est la synthèse de travaux portant sur l'étude de systèmes de particules en interaction de type champ moyen et leurs perturbations (dynamiques en environnement aléatoire ou sur des graphes d'interaction non triviaux) et certaines applications de ces modèles à des systèmes physiques (e.g. synchronisation d'oscillateurs) ou biologiques (populations de neurones structurées en espace).

1. cecile.louchet@univ-orleans.fr

Un premier aspect des travaux présentés concerne le comportement en grande population sur un intervalle de temps borné de systèmes de champ-moyen soumis à diverses perturbations : présence d'un milieu aléatoire, avec des interactions spatiales ou non-homogènes (graphe aléatoire). Les questions qui se posent concernent la convergence de la mesure empirique du système (ou de fonctionnelles locales) vers la solution d'une équation de Fokker-Planck non linéaire ainsi que les fluctuations et grandes déviations associées. Un second aspect des travaux exposés concerne le comportement en temps long de processus de McKean-Vlasov non linéaires associés à ces modèles. L'accent est mis sur l'émergence, la stabilité et la régularité de trajectoires périodiques pour les lois de ces processus, en présence de bruit et d'interaction. Un intérêt plus particulier est accordé à des dynamiques excitables de type FitzHugh-Nagumo. Un troisième aspect porte sur la stabilité en temps long des comportements périodiques évoqués plus haut vis-à-vis de la mesure empirique du système microscopique de taille finie. On montre en particulier l'existence de fronts d'onde induits par le bruit sur des échelles de temps non bornées. Un dernier aspect porte sur un intérêt récent pour des dynamiques à sauts de type Hawkes en présence d'inhibition, en proposant une modélisation nouvelle de l'inhibition de type multiplicatif et d'en étudier l'émergence de solutions macroscopiques périodiques.

► *Habilitation soutenue par* : **Sergei GRUDININ**

New Challenges in Structural Bioinformatics : When Physics Meets Big Data

Soutenu le 18 octobre 2023

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes

Résumé :

Structural biology hides many puzzles that seem very difficult to solve by using pure statistical physics approaches. For example, the question of how a protein sequence adopts its 3D shape arose more than a half-century ago, with practical solutions being just discovered thanks to the advances in multiple disciplines, most notably in machine learning. Most often, proteins do not act alone and function via interactions with other molecules. Sometimes they form stable complexes, which can be homo- or heteromeric. They can

even organize in higher-order assemblies. And very often, these assemblies follow strict symmetrical principles. Thus, our understanding of these principles will help us understand the physics of life and hopefully will pave the way to designing new macromolecular machines. Protein structures under physiological conditions are neither rigid - indeed, proteins often perform their function by changing conformational states or regulating the amplitude of fluctuations upon binding. Describing and predicting their internal motions will be the next frontier of structural biology and bioinformatics. My thesis presents studies on modeling protein structure, interactions, and flexibility. I will describe several new methods to analyze and predict symmetrical protein assemblies. I will also introduce a novel approach to modeling protein motions. I will then explain our procedure to compute small-angle scattering profiles and accordingly optimize molecular shapes. Finally, I will review our developments on machine and deep learning applied to protein structures and interactions and give a future perspective.

Mots-clés : Machine learning, Computational physics, Structural bioinformatics

► *Habilitation soutenue par :* **Vincent PERROLLAZ**

Conservation Laws, Propagation and Control Theory

Soutenue le 18 décembre 2023

Institut Denis Poisson, Université de Tours

Résumé :

Ce manuscrit d'Habilitation à Diriger les Recherches est consacré à l'étude des lois de conservation hyperboliques.

Celles-ci jouent en particulier un rôle central dans l'étude des fluides compressibles, dans la modélisation du trafic routier et celle des mouvements de foule.

On étudie divers aspects de ces équations.

1. Leur caractère bien posé au sens de Hadamard, le problème étant rendu délicat par l'apparence générique de singularités.

Plus spécifiquement on se focalise sur le cas spatialement inhomogène et la connexion entre les solutions entropiques des lois de conservation et les solutions de viscosité des équations d'Hamilton-Jacobi.

2. Le problème d'identification de données initiales, question naturelle une fois constatée la non réversibilité en temps des solutions singulières. Il s'agit de décrire le plus précisément possible l'ensemble des données initiales qui évoluent vers un état donné en un temps donné.
3. Le problème de contrôlabilité exacte qui, lorsqu'on utilise la méthode d'extension de Russell, apparaît comme une extension naturelle — mais distincte — de la question précédente.
4. Finalement, en connexion avec l'automatique, on s'intéresse au problème de stabilisation asymptotique — ou en temps fini — par retour d'état stationnaire.

► *Habilitation soutenue par* : **Arthur LECLAIRE**

Synthèse et Restauration d'Images par Transport Optimal et Apprentissage Profond

Soutenue le 14 novembre 2023

Institut de Mathématiques de Bordeaux, Université de Bordeaux

Résumé :

Les travaux présentés dans ce document de synthèse s'inscrivent dans le domaine des mathématiques appliquées au traitement des images, et traitent plus précisément de synthèse de textures par l'exemple, de modèles génératifs d'images, et de restauration d'images. Nos avancées sont basées sur des outils mathématiques liés à la modélisation aléatoire, au transport optimal, aux méthodes de Monte-Carlo, à l'optimisation et à l'apprentissage profond.

Le Chapitre 2 porte sur l'utilisation du transport optimal dans l'espace des patches pour la synthèse de textures. Le Chapitre 3 concerne l'utilisation du transport optimal régularisé dans l'apprentissage de réseaux génératifs servant à la synthèse d'images. Le Chapitre 3 concerne l'utilisation du transport optimal régularisé dans l'apprentissage de réseaux génératifs servant à la synthèse d'images. Le Chapitre 4 porte sur une formulation du problème de synthèse de textures avec des modèles de maximum d'entropie, pour lesquels on a donné des procédés d'échantillonnage et d'estimation avec garanties de convergence. Le Chapitre 5 est centré sur la résolution de problèmes inverses pour la restauration d'images, et en particulier sur

l'étude des méthodes Plug-and-Play liées à des régularisations par réseaux de neurones profonds.

THÈSES DE DOCTORAT D'UNIVERSITÉ

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Mariem ABAACH**
- ▶ *Sous la direction de* : Hermine Biermé (université de Tours), Elena Di Bernardino (université Côte d'Azur), Anne Estrade (université Paris Cité).

**Geometrical characteristics of random fields.
On the perimeter of a binary image :
estimation procedures, testing, and numerical implementations**

*Soutenue le 24 novembre 2023
MAP5, Université Paris Cité*

Résumé :

This thesis explores the possibility of using geometrical functionals to analyze and summarize the geometrical attributes of an image. Using discretized random fields to model the image, we study the statistical behavior of the perimeter of the excursion sets associated with the image. We proceed by varying the conditions on the covariance structure of the field and observing how it affects the statistics of the perimeter. The first natural framework that emerges is the white noise framework, and the second is the stationary Gaussian random fields. This approach allowed us to construct a statistical test for the symmetry of the marginal distribution of the field in the first case and for local isotropy in the latter. Numerical studies support all our findings and results. We also applied the local isotropy test for local isotropy in calcaneus X-rays. Finally, we conclude our dissertation by comparing the performances of geometrical functionals to topological features retrieved using methods from Topological Data Analysis in a classification task.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Dima ABOU EL NASSER EL YAFI**
- ▶ *Sous la direction de* : Victor Péron (université de Pau et des Pays de l'Adour).

Résolution numérique des problèmes de diffusion magnétique dans des matériaux ferromagnétiques

*Soutenue le 12 décembre 2023
Université de Pau et des Pays de l'Adour*

Résumé :

Cette thèse vise à résoudre numériquement le problème des courants de Foucault en régime harmonique dans des matériaux linéairement ferromagnétiques entourés par un isolant, ayant une interface régulière en commun. On propose une approche numérique basée sur un développement asymptotique à multi-échelle permettant d'aborder finement le comportement de la solution avec un moindre coût de calculs. Ce travail est effectué en trois parties. La première partie consiste à l'analyse asymptotique à multi-échelle du problème dans le cas bidimensionnel. Afin d'évaluer les performances du développement asymptotique imposé, nous appliquons la méthode des éléments finis avec un maillage raffiné sur l'interface du conducteur. Il en résulte que les coûts de calculs de la solution asymptotique sont moins que celles de la solution de référence et d'impédance. Ce résultat prouve l'importance de notre approche. La deuxième partie est consacrée à l'étude du problème d'intérêt dans le cas d'une géométrie axisymétrique et une donnée axisymétrique et orthoradiale. On développe asymptotiquement la solution orthoradiale unidimensionnel du problème et on valide les résultats analytiquement. Finalement, on s'intéresse à étendre notre étude asymptotique pour le cas tridimensionnel. Les développements dans ce cas sont vérifiés en établissant un lien avec les modèles asymptotiques unidimensionnels.

Mots-clés : Courant de Foucault; Développement asymptotique à multi-échelle; matériaux ferromagnétiques; Méthode des éléments finis; Effet de peau; Potentiel magnétique; Méthode d'impédance.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Zoé AGATHE-NERINE**
 - ▶ *Sous la direction de* : Ellen Saada et Eric Luçon (université Paris Cité).
-

Processus de Hawkes sur des graphes aléatoires en neurosciences : limite en grande population et stabilité en temps long

*Soutenue le 27 novembre 2023
MAP5, Université Paris Cité*

Résumé :

Dans cette thèse, nous nous concentrons sur un modèle de population de neurones, où l'activité neuronale de la population est représentée par un processus de Hawkes multivarié. L'activité de chaque neurone est décrite par un processus de comptage, où chaque saut du processus représente l'émission d'un potentiel d'action (également appelé spike) par le neurone. Une étiquette est attribuée à chaque neurone, liée à sa fonction ou à sa localisation spatiale. La connectivité entre les neurones est donnée par un graphe aléatoire éventuellement dilué et inhomogène, où la probabilité de présence de chaque arête dépend des étiquettes de ses sommets. Le taux d'excitation de chaque neurone dépend du passé des neurones connectés : il augmente en cas d'excitation par d'autres neurones, ou diminue en cas d'inhibition.

La motivation principale est d'étudier le comportement du système dynamique lorsque la taille de la population tend vers l'infini, lorsque le graphe d'interaction est fixé. Une question importante est de comprendre comment l'inhomogénéité spatiale (dans l'interaction) influence le comportement en temps long du système. Une autre question consiste à relier le modèle microscopique à la *Neural Field Equation* (NFE), qui modélise une dynamique neuronale à grande échelle avec des interactions non locales.

Dans un premier temps, nous introduisons notre modèle principal, et décrivons sa limite en grande population par des processus ponctuels de Poisson inhomogènes. Nous prouvons un résultat de propagation du chaos, valable sur des intervalles de temps finis. Nous nous concentrons aussi sur le comportement en temps long de la limite en grande population dans le cas linéaire. Dans un second temps, nous explorons deux cas où il est possible d'étudier le comportement en temps long du système microscopique, plus précisément jusqu'à des temps polynomiaux en la taille de la population. Dans le premier cas, la dynamique de la limite en grande population est attirée par une solution stationnaire unique de la NFE. Nous prouvons la stabilité en temps long de la dynamique du système microscopique autour de cette solution. Dans le second cas, la NFE admet un ensemble de solutions stationnaires stables qui forment une variété. Nous montrons la proximité

en temps long entre le système microscopique et cette variété. En particulier, nous prouvons que sur une échelle de temps de l'ordre de la taille de la population, la dynamique du système peut être décrite par un mouvement brownien sur la variété des solutions stationnaires.

► *Thèse soutenue par* : **Roland AKIKI**

► *Sous la direction de* : Raphaël Grandin (Institut de Physique du Globe, Paris), Gabriele Facciolo (ENS Paris-Saclay) et Jean-Michel Morel (ENS Paris-Saclay).

Géométrie et Précision dans le Traitement de Sentinel-1 pour des Applications Interférométriques

Soutenue le 15 décembre 2023

Centre Borelli, ENS Paris-Saclay, Université de Paris

Résumé :

Cette thèse explore les techniques avancées de traitement des données du radar à synthèse d'ouverture (RSO, ou SAR en anglais) du satellite Sentinel-1 et se concentre sur les questions liées à la précision, à la géométrie et à l'efficacité avec des applications à l'interférométrie (InSAR). La première partie de la thèse étudie le recalage et la modélisation géométrique de Sentinel-1. Tout d'abord, nous comparons différentes approches de "deramping" pour Sentinel-1 et mettons en évidence les compromis entre efficacité et précision. Ensuite, nous appliquons avec succès un algorithme pour estimer les modèles de caméra RPC à partir de correspondances de points 3D-2D sur les images Sentinel-1 et Worldview-3. Le dernier chapitre de la première partie propose une méthode pour améliorer la précision de l'assemblage des "bursts" de Sentinel-1 et du recalage géométrique en tenant compte des corrections fines du modèle de géolocalisation. Il en résulte une série temporelle de mosaïques Sentinel-1 bien alignées et géométriquement cohérentes. La deuxième partie de la thèse évalue la performance des méthodes d'apprentissage profond existantes pour les tâches InSAR telles que le débruitage de phase, l'estimation de la cohérence et le déroulement de phase. La dernière partie présente une application InSAR sur les cuves de stockage de pétrole brut. Nous montrons la corrélation entre la double différence de la phase InSAR sur les réflecteurs fixes voisins des cuves et la double différence du taux de remplissage des cuves. Nos résultats indiquent que les réflecteurs

sur le toit d'une cuve s'éloignent du satellite d'environ 1 cm lorsqu'elle se remplit. Notre étude souligne la nécessité d'exigences strictes en matière de précision et de traitement de certaines applications InSAR localisées. En conclusion, ce travail met en évidence les aspects liés à la géométrie et à la précision du traitement de Sentinel-1, qui pourraient bénéficier à la fois aux applications SAR et InSAR à grande échelle et localisées.

► *Thèse soutenue par* : **Lukas ANZELETTI**

► *Sous la direction de* : Alexandre Richard (CentraleSupélec, Université Paris-Saclay), Étienne Tanré (Inria et Université Côte d'Azur).

Stochastic differential equations with singular drift and (fractional) Brownian noise

*Soutenue le 26 octobre 2023
CentraleSupélec, Université Paris-Saclay*

Résumé :

On étudie l'existence et l'unicité des solutions d'équations différentielles stochastiques avec une dérive singulière ou même distributionnelle et un bruit brownien (fractionnaire) additif. Dans le cas fractionnaire, l'existence et l'unicité sont démontrées pour un ensemble de dérives plus grand que ce qui était connu auparavant, en utilisant à la fois les intégrales de Young non linéaires et le lemme de la couturière stochastique. De plus, on montre que la loi de la solution a une densité et on étudie sa régularité.

Certaines des techniques utilisées sont de nature déterministe. Cela conduit naturellement à la notion d'unicité "trajectoire par trajectoire". Dans le cas brownien, l'unicité "trajectoire par trajectoire" est démontrée pour une classe de dérives singulières, étendant ainsi la littérature précédente sur les dérives bornées. En outre, des contre-exemples sont fournis, montrant que l'unicité "trajectoire par trajectoire" est plus forte que les notions habituelles d'unicité.

► *Thèse soutenue par* : **Younes BELKOUCHI**

► *Sous la direction de* : Hugues Talbot (CentraleSupélec, université Paris-

Saclay), Nathalie Lassau (INSERM CNRS, université Paris Saclay).

Biomarqueurs de l'efficacité de l'immunothérapie à base d'imagerie

Soutenue le 30 janvier 2024

CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Résumé :

L'immunothérapie a révolutionné les stratégies thérapeutiques dans le traitement du cancer. Elle a prouvé son efficacité contre plusieurs types de tumeurs, notamment chez les patients métastatiques avancés par une augmentation de la survie globale (OS) chez ces patients. Bien que son efficacité soit incontestée dans le traitement de patients atteints de divers types de cancer, il n'existe toujours pas, à ce jour, de biomarqueur d'imagerie pronostique ou prédictif validé. Dans cette optique, nous avons cherché à établir la validité de la charge tumorale totale en tant que biomarqueur pronostique et prédictif. Nous avons démontré que cette mesure offre un biomarqueur plus fiable que la somme des diamètres des lésions RECIST chez les patients atteints de métastases. De plus, nous avons exploré l'intérêt de l'étude de l'hétérogénéité tumorale dans ce contexte et tenté de déterminer si elle fournit des informations intéressantes lorsqu'elle est combinée au volume tumoral. Les données d'autres modalités d'imagerie ont également été analysées pour montrer leur puissance pronostique ou prédictive, en particulier les paramètres de perfusion DCE-US. D'autre part, l'utilisation de l'IA dans les applications médicales nécessite généralement le développement de modèles robustes et interprétables. De plus, la précision d'un modèle est le plus souvent liée à la quantité de données entièrement annotées disponibles pour son apprentissage. À cette fin, nous avons abordé le problème de la segmentation des tumeurs dans des scanners TDM en utilisant des outils de morphologie mathématique. Ces outils sont généralement interprétables et peuvent nous aider à construire des bases de données entièrement annotées, qui peuvent à leur tour être utilisées pour construire des réseaux neuronaux ayant une forte puissance prédictive. Étant donné que le problème de la segmentation de toutes les tumeurs dans tous les organes est extrêmement difficile, nous nous sommes principalement concentrés sur la segmentation des nodules pulmonaires. Enfin, pour construire des réseaux neuronaux interprétables et robustes, nous avons développé une méthodologie basée sur des méthodes plug-and-play. En utilisant l'algorithme forward-backward-forward, nous pouvons résoudre divers problèmes d'imagerie tels que la seg-

mentation et la restauration d'images. L'un des principaux critères de l'algorithme est de résoudre des problèmes d'inclusion monotone impliquant des opérateurs monotones. Une interprétation de base est que le sous-gradient d'une fonction convexe est monotone. Dans ce cas, nous avons mis au point une méthodologie pour entraîner des réseaux neuronaux avec une pénalisation définie pour apprendre des opérateurs monotones. Grâce à cette méthodologie, nous visons à résoudre un problème inverse non linéaire en tant que première application, dans le but de modéliser des objets complexes tels que des tumeurs pour apprendre des a priori monotones efficaces pour leur segmentation.

► *Thèse soutenue par* : **Rishabh BHATT**

► *Sous la direction de* : Laurent Debreu et Arthur Vidard (INRIA, Grenoble).

Algorithmes parallèles en temps pour l'assimilation de données

Soutenue le 23 novembre 2023

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes

Résumé :

L'assimilation variationnelle de données (4DVAR), basée sur des algorithmes d'optimisation, est utilisée par les principales institutions météorologiques pour initialiser les modèles climatiques numériques. La condition initiale optimale est trouvée en minimisant une fonction de coût qui prend en compte les écarts entre la trajectoire du modèle et les observations du système sur une période donnée. Dans sa formulation incrémentale, l'intégration de la version directe et adjointe du modèle original est nécessaire pour calculer le gradient. Un problème courant dans l'identification de la condition initiale est la très grande taille de la variable d'état (10^9), ce qui rend très coûteuse la tâche de minimisation. De plus, la technique 4DVAR est un algorithme intrinsèquement séquentiel et, pour l'utiliser dans des architectures parallèles, les modèles sont généralement parallélisés uniquement dans la dimension spatiale. ceci limite l'accélération (scalabilité) possible une fois que la saturation spatiale est atteinte et ainsi le nombre maximal de cœurs de calcul pouvant être utilisés est également restreint.

L'objectif de cette thèse est d'introduire une parallélisation supplémentaire de la dimension temporelle dans le cadre de l'assimilation de données en

utilisant la méthode Parareal. Notre approche est utilisée ici pour l'intégration directe. Nous utilisons une version modifiée de la méthode du gradient conjugué inexact où les multiplications matrice-vecteur sont effectuées par l'algorithme parareal et ne sont donc pas exactes. Les conditions de convergence associées du gradient conjugué inexact nous permettent d'utiliser l'algorithme Parareal de manière adaptative en régulant les erreurs dans le produit matrice-vecteur et en obtenant les mêmes niveaux de précision qu'avec la méthode du gradient conjugué avec gradient exact. Pour garantir la faisabilité et une mise en œuvre pratique, les normes intervenant dans la méthode du gradient conjugué inexact sont remplacées par des approximations facilement calculables. Les résultats sont démontrés en considérant un modèle en eau peu profonde en dimension 1 et 2. Ils sont présentés en termes de précision (en comparaison avec la méthode exacte du gradient conjugué) et du nombre d'itérations requises par l'algorithme Parareal. Pour le modèle en dimension 2, plus complexe, nous utilisons la technique de sous-espaces de Krylov afin d'accélérer la convergence du parareal et réduire le nombre d'itérations. Enfin, les moyens de paralléliser temporellement la version adjointe sont discutés comme une voie de recherche supplémentaire.

Mots-clés : Data assimilation, Optimisation, Parallelization in time

► *Thèse soutenue par :* **Anas BOUALI**

► *Sous la direction de :* TERENCE Bayen (université d'Avignon) et Loïc Bourdin (université de Limoges).

Contrôle optimal hybride : conditions d'optimalité et applications

Soutenue le 6 novembre 2023

Laboratoire de Mathématiques d'Avignon, Avignon Université

Résumé :

Cette thèse aborde le domaine mathématique de la théorie du contrôle optimal en se concentrant spécifiquement sur les problèmes de contrôle optimal hybrides spatiaux. Ici, le terme spatial indique que nous considérons un système de contrôle hybride défini sur une partition de l'espace d'état qui est divisée en régions disjointes. De plus, nous supposons que le système de contrôle dépend d'un paramètre régional qui reste constant à l'intérieur de chaque région, mais peut changer sa valeur lorsque la position

de l'état traverse les frontières. Ce nouveau cadre nous permet de traiter des systèmes de contrôle qui incluent des régions de perte contrôle, ce qui constitue notre motivation initiale. Dans ce type de système, étant donné une partition de l'espace d'état, le comportement du contrôle varie en fonction de la position de l'état. Il peut être modifié à tout moment (appelé contrôles permanents) lorsque l'état appartient à des régions appelées régions de contrôle, ou il peut rester constant lorsque l'état appartient à des régions appelées régions de perte contrôle. Dans les deux cadres, nos objectifs sont les suivants : premièrement, dériver un principe maximum hybride spatial (abrégé en HMP) avec un paramètre régional; deuxièmement, dériver un principe maximum de Pontryagin avec des régions de perte de contrôle; et troisièmement, fournir une approche numérique permettant de résoudre des problèmes de contrôle optimal avec des régions de perte de contrôle. Pour atteindre ces objectifs, nous introduisons de nouveaux outils et concepts qui répondent à certains défis qui peuvent survenir dans un cadre spatial hybride. En particulier, nous identifions deux défis principaux : la non-admissibilité des perturbations en-aiguille et l'incapacité d'appliquer directement la technique d'augmentation bien connue dans un cadre spatial hybride.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Cheima BOUDJENIBA**
- ▶ *Sous la direction de* : Étienne Birmelé (université Paris Cité).

**Aspects méthodologiques de la médecine de précision
avec application à la maladie de Sjögren**

*Soutenue le 8 décembre 2023
MAP5, Université Paris Cité*

Résumé :

La maladie de Sjögren primaire (pSD) est une maladie auto-immune provoquant un syndrome sec en raison de l'infiltration glandulaire et de la production d'autoanticorps. Les traitements existants manquent d'efficacité, ce qui motive la recherche de stratégies thérapeutiques. Cette thèse a pour but de mieux comprendre la physiopathologie du pSD grâce à l'analyse de données transcriptomiques en haute dimension.

Pour comprendre la nature hétérogène de la pSD, l'étude a utilisé une classification non supervisée des gènes sur quatre bases de données d'échan-

tillons de sang total. Cette approche a permis d'identifier treize modules de gènes de consensus (CM) qui résument l'information transcriptomique. L'interprétation de ces modules a été réalisée grâce à des analyses d'enrichissement de modules de gènes et des comparaisons avec les profils transcriptomiques de sous-ensembles distincts de cellules sanguines.

L'étude a attribué avec succès une signification biologique aux CM identifiés, les associant à des types de cellules spécifiques ou à des catégories fonctionnelles. Grâce à l'analyse de corrélation avec les données de cytométrie en flux, les annotations ont été validées. Notamment, ces CM ont été utilisés pour concilier les stratifications des patients précédemment proposées dans la pSD, éclairant les sous-types complexes de la maladie.

Ces modules ont été liés à la réponse à une thérapie combinée impliquant l'hydroxychloroquine et le léflunomide, comme observé dans un cadre d'essai clinique. Cette découverte ouvre la voie à d'éventuels biomarqueurs sanguins prédictifs de l'efficacité du traitement.

► *Thèse soutenue par* : Rémi BOUTIN

► *Sous la direction de* : Pierre Latouche (université Côte d'Azur et École Polytechnique), Charles Bouveyron (université Côte d'Azur).

Deep graphical models and inference strategies for the analysis of networks comprising textual edges

Soutenu le 14 décembre 2023

MAP5, Université Paris Cité

Résumé :

Dans cette thèse, nous développons de nouvelles méthodologies pour regrouper les nœuds de réseaux comportant, éventuellement, des arêtes textuelles. Notre objectif est de fournir une modélisation de bout-en-bout, capable d'utiliser les textes échangés entre les nœuds ainsi que la topologie du réseau pour extraire les motifs à l'origine de ce jeu de données. Ce travail est motivé par des questions qui se posent dans différents domaines comme en sciences sociales par exemple. La collecte et la compréhension de gros volumes de données provenant des réseaux sociaux peuvent, par exemple, aider les chercheurs à répondre à des questions concernant la manière dont une politique est perçue. Nous adoptons un cadre de modélisation probabiliste pour classifier les nœuds et analyser les textes. Entre autres, ces

modèles renseignent sur l'incertitude de nos estimations et fournissent un cadre qui s'est avéré robuste historiquement. De plus, afin de bénéficier de l'efficacité des réseaux de neurones profonds pour encoder des types de données complexes, nos méthodologies combinent les modèles probabilistes avec les derniers avancements dans ce domaine. Plusieurs analyses de données réelles sont fournies. En particulier, durant plusieurs mois précédant l'élection présidentielle française de 2017, chaque publication d'un média social, ainsi que leurs rediffusions, impliquant l'un des candidats ont été rassemblées dans une base de données. Notre méthodologie permet de comprendre les groupes présents sur les réseaux sociaux ainsi que la manière dont les interactions se sont établies au cours de cette période particulière. Les implémentations Python associées aux méthodologies développées dans ce manuscrit ont été rendues publiques.

► *Thèse soutenue par* : **Ibrahim BOUZALMAT**

► *Sous la direction de* : Benoîte de Saporta (IMAG, Montpellier) et Solym Manou Abi (CUFR Mayotte).

Modélisation probabiliste de la dynamique de transmission de la fièvre typhoïde à Mayotte avec étude de risques épidémiques

*Soutenue le 15 novembre 2023
IMAG, Université de Montpellier*

Résumé :

La thèse a pour objectif l'étude de la transmission de la fièvre typhoïde à Mayotte en utilisant des approches de modélisation mathématique. Elle débute par une introduction au contexte de l'étude, aux problématiques associées et aux objectifs de recherche. Un état de l'art sur la modélisation mathématique de la transmission de la fièvre typhoïde est présenté, mettant en lumière la spécificité de l'approche adoptée. Ensuite, deux versions du modèle initial, déterministe et stochastique, sont proposées pour décrire la dynamique de transmission de la maladie à Mayotte. Le comportement du modèle est exploré au travers de simulations numériques dans divers scénarios, mettant en avant les facteurs déterminants de la transmission. Toutefois, en raison des limites du jeu de données disponible, un modèle stochastique simplifié est introduit, accompagné d'une méthode d'estima-

tion paramétrique. Cette approche permet d'adapter le modèle aux données disponibles et d'estimer les caractéristiques essentielles de la transmission de la fièvre typhoïde à Mayotte. Par la suite, des extensions sont intégrées au modèle, notamment un compartiment pour les individus exposés, prenant en compte la durée d'incubation de la maladie. Les propriétés théoriques de ce modèle sont étudiées et illustrées par des simulations numériques. Une méthodologie d'estimation des paramètres spécifiquement adaptée à ce modèle étendu est proposée, avec des simulations numériques pour évaluer sa performance. L'étude se penche également sur l'impact de la pluviométrie sur la transmission de la fièvre typhoïde à Mayotte, en utilisant des données publiques de précipitations. En conclusion, le travail de recherche ouvre des perspectives prometteuses, particulièrement l'extension du modèle à d'autres maladies infectieuses à Mayotte et sa généralisation à d'autres territoires similaires.

► *Thèse soutenue par* : **Lucrezia CARBONI**

► *Sous la direction de* : Sophie Achard (CNRS, Grenoble) et Michel Dojat (INSERM, Grenoble).

Graphs for artificial neural networks and brain connectivity exploration

Soutenu le 20 octobre 2023

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes

Résumé :

The main objective of this thesis is to explore brain and artificial neural network connectivity from a graph-based perspective. While structural and functional connectivity analysis has been extensively studied in the context of the human brain, there is a lack of a similar analysis framework in artificial systems. To address this gap, this research focuses on two main axes. In the first axis, the main objective is to determine a healthy signature characterization of the human brain's resting state functional connectivity. A novel framework is proposed to achieve this objective, integrating traditional graph statistics and network reduction tools to determine healthy connectivity patterns. Hence, we build a graph pair-wise comparison and a classifier to identify pathological states and rank associated perturbed

brain regions. Additionally, the generalization and robustness of the proposed framework are investigated across multiple datasets and variations in data quality. The second research axis explores the benefits of brain-inspired connectivity exploration of artificial neural networks (ANNs) in the future perspective of more robust artificial systems development. A major robustness issue in ANN models is represented by catastrophic forgetting when the network dramatically forgets previously learned tasks when adapting to new ones.

Our work demonstrates that graph modeling offers a simple and elegant framework for investigating ANNs, comparing different learning strategies, and detecting deleterious behaviors such as catastrophic forgetting. Moreover, we explore the potential of leveraging graph-based insights to effectively mitigate catastrophic forgetting, laying the foundations for future research and explorations in this area.

► *Thèse soutenue par* : **Jihade CHAIBOUB**

► *Sous la direction de* : Mohammed Guedda (Université de Picardie Jules Verne) et Chaouqi Misbah (Université de Grenoble).

Modélisation mathématique de trajectoire de micro-nageur sous écoulement

Soutenue le 21 décembre 2023
LAMFA, Université de Picardie Jules Verne

Résumé :

Ma thèse porte sur la dynamique et les trajectoires des micro-nageurs, en mettant l'accent sur le cas d'une particule sphérique rigide soumise à divers types d'écoulements linéaires, ainsi qu'à une force extérieure. L'approche adoptée est analytique, permettant ainsi d'obtenir des expressions analytiques exactes des solutions pour la dynamique et les trajectoires des micro-nageurs dans différents régimes. Dans le même état d'esprit, j'ai étudié la dynamique d'une micro-capsule ellipsoïdale déformable sous un écoulement de cisaillement.

Mots-clés : écoulement, micro nageurs, nombre de Reynolds, EDP, dynamique, trajectoires, mouvement.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Adrien COURTOIS**
- ▶ *Sous la direction de* : Pablo Arias (universitat Pompeu Fabra) et Jean-Michel Morel (ENS Paris-Saclay).

An in-depth study of the deep learning pipeline

Soutenue le 15 décembre 2023

Centre Borelli, ENS Paris-Saclay, Université de Paris

Résumé :

Malgré l'immense succès des réseaux de neurones dans de nombreuses applications, la compréhension de leurs performances et de leurs limites progresse lentement. Bien que les théorèmes d'approximation universelle apportent la promesse de machines capables d'approximer n'importe quelle application complexe, ces résultats sont des énoncés asymptotiques et génériques qui ne donnent que peu d'informations sur les cas pratiques. En effet, la complexité de l'analyse théorique vient du fait que trois éléments sont nécessaires pour entraîner un réseau de neurones : un jeu de données, une architecture neuronale et un optimiseur. La plupart des théories disponibles se concentrent sur un seul de ces éléments à la fois, et l'on sait peu de choses sur leurs interactions. Cette thèse développe une analyse de chacun de ces éléments et de leurs interactions, en théorie et en pratique, à travers une application particulièrement déroutante : l'estimation de profondeur mono-image. Nous commençons par analyser les jeux de données, qui jouent le rôle des ombres projetées sur le mur de la caverne de Platon, dont les habitants sont les réseaux neuronaux. Nous étudions l'impact de leur définition sur les réseaux neuronaux et la manière dont la conception d'ensembles de données synthétiques peut être exploitée pour mieux comprendre les performances et les limites de chaque architecture neuronale. Une analyse plus poussée des propriétés des architectures neuronales nous amène à discuter des moyens de les adapter à une nouvelle tâche ou à un nouveau jeu de données, en utilisant deux applications fondamentales comme bancs d'essai : l'estimation de profondeur mono-image et les méthodes de débruitage vidéo. En donnant des contre-exemples, nous montrons également comment les théorèmes d'approximation universels ne s'appliquent pas au cas pratique. Enfin, nous nous plongeons dans la théorie des optimiseurs et décrivons comment ils définissent la structure des machines d'apprentissage. Nous nous concentrons sur le concept de stabilité du processus d'optimisation et proposons l'utilisation de limites explicites

sur les paramètres d'un réseau de neurones et leurs mises à jour, garantissant que sa sortie sera bornée quelles que soient sa largeur et sa profondeur. Enfin, nous déduisons une nouvelle forme pour les optimiseurs neuronaux classiques qui favorise leur stabilité.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Clément DENIS**
- ▶ *Sous la direction de* : Sylvie Monniaux (Aix-Marseille Université).

Trois questions sur l'opérateur de Stokes

*Soutenue le 11 décembre 2023
Aix-Marseille Université*

Résumé :

Cette thèse se divise en trois parties principales : dans la première, nous étudions l'opérateur Dirichlet-to-Neumann associé à l'opérateur de Stokes, avec comme principale application un théorème de comparaison des valeurs propres entre les opérateurs de Stokes-Neumann et Stokes-Dirichlet.

Dans la seconde, nous démontrons d'abord que l'opérateur trace est compact pour des champs de vecteurs à faible régularité sur domaines lipschitziens. Ce théorème nous permet d'étudier et de décrire l'opérateur Dirichlet-to-Hodge associé à l'opérateur de Stokes.

Dans la troisième partie, nous étudions un système d'équation de magnétohydrodynamique couplant les équations de Navier-Stokes et de Maxwell. Nous présentons le système dans le langage des formes différentielles et nous montrons des théorèmes d'existence locale et globale et d'unicité des solutions dans les espaces critiques en dimension arbitraire.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Dieunel DOR**
- ▶ *Sous la direction de* : Alain Miranville (université de Poitiers), Achis Chery (université d'État d'Haïti).

Étude de modèles mathématiques pour les croissances tumorales

*Soutenue le 4 décembre 2023
Laboratoire de Mathématiques et Applications, Université de Poitiers*

Résumé :

Dans cette thèse, nous menons une étude analytique et numérique du modèle de Cahn-Hilliard généralisé. Nous examinons l'existence, l'unicité et la régularité des solutions de ces modèles, ainsi que leur comportement asymptotique en termes d'existence d'un attracteur global de dimension fractale finie et d'une famille robuste d'attracteurs exponentiels. Tout d'abord, nous considérons la relaxation hyperbolique de l'équation de Cahn-Hilliard avec des conditions aux limites de type Dirichlet et une non-linéarité de type polynomiale. Nous prenons en compte le terme de symport qui représente les échanges entre les cellules et leur environnement, ainsi que le terme de prolifération pour la croissance tumorale. Dans ce contexte, nous présentons des simulations numériques qui confirment les résultats théoriques. Ensuite, nous examinons la relaxation hyperbolique de l'équation de Cahn-Hilliard visqueuse avec le terme de symport associé à des conditions aux limites de Dirichlet et un potentiel régulier. Dans ce modèle, nous étudions l'existence d'une famille robuste d'attracteurs exponentiels et la stabilité d'un schéma linéaire implicite-explicite (IMEX) lorsque le terme de symport est nul. Des simulations numériques du modèle sont également présentées pour confirmer les résultats analytiques. Enfin, nous abordons l'étude de la convergence des attracteurs exponentiels pour une discrétisation en temps linéaire implicite-explicite (IMEX) de l'équation de Cahn-Hilliard avec un terme source, en présence de conditions aux limites de Dirichlet. Pour des pas de temps suffisamment petits, nous construisons des attracteurs exponentiels du système dynamique en temps discret associé à la discrétisation. Nous démontrons que lorsque le pas de temps tend vers 0, ces attracteurs convergent en termes de distance de Hausdorff symétrique vers des attracteurs exponentiels du système dynamique en temps continu associé au modèle. De plus, nous prouvons que la dimension fractale de l'attracteur exponentiel (et donc de l'attracteur global) est bornée par une constante indépendante du pas de temps. Ces résultats s'appliquent également à l'équation classique de Cahn-Hilliard avec des conditions aux limites de Neumann.

► *Thèse soutenue par* : **Geoffrey ECOTO DICKA**

► *Sous la direction de* : Antoine Chambaz (université Paris Cité), Thierry Cohignac (Caisse Centrale de Réassurance).

Modélisation et apprentissage machine learning appliqués à l'estimation des dommages consécutifs à la survenance d'un événement de sécheresse par retrait-gonflement des argiles dans le cadre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles français

Soutenue le 2024
MAP5, Université Paris Cité

Résumé :

Cette thèse est consacrée à l'anticipation de l'impact financier sur les biens assurés de la survenance d'un événement de sécheresse grâce au recours à des méthodes au croisement de la statistique et du machine learning. Le terme sécheresse désigne ici le phénomène de retrait-gonflement des argiles provoquant des dommages aux bâtiments. L'exercice peut être décomposé en deux sous-problèmes que nous abordons tour à tour. Le premier sous-problème considère plus spécifiquement la tâche consistant à prédire quelles communes formuleront une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de l'événement sécheresse. Le second est consacré à la prédiction de l'impact financier de l'événement sécheresse sur les biens assurés situés dans les communes reconnues en état de catastrophe naturelle. Dans le cadre du premier sous-problème, nous développons, étudions et appliquons un algorithme original pour la prédiction des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. L'algorithme bénéficie de deux formalisations complémentaires de la tâche d'intérêt, abordé sous l'angle de la classification supervisée et comme un problème de transport optimal. Les prédictions finales sont obtenues comme moyenne géométrique des deux types de prédictions. Théoriquement, le plan de transport optimal peut être obtenu en appliquant l'algorithme iPiano [Ochs et al., 2015], dont nous prouvons que les hypothèses qui sous-tendent son analyse sont bien vérifiées. L'analyse des prédictions obtenues démontre la pertinence de l'algorithme. Dans le cadre du second sous-problème, nous développons, étudions et appliquons un algorithme original d'agrégation d'algorithmes inspiré du Super Learner [van der Laan, 2007]. Deux écueils doivent être pris en compte. D'une part, parce que le péril sécheresse n'est couvert par le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles français que depuis 1989, le nombre d'événements sécheresse sur lesquels nous pouvons entraîner notre algorithme est réduit, chaque événement sécheresse se voyant associer un jeu de données de grande taille. D'autre part, à la

dépendance temporelle s'ajoute une dépendance spatiale due notamment aux proximités géographique et administrative entre communes françaises. Fondée sur une modélisation de la dépendance à l'aide d'un graphe de dépendance, l'étude théorique révèle que la brièveté de la série temporelle peut être compensée si la dépendance spatiale est faible. De nouveau, l'analyse des prédictions obtenues démontre la pertinence de notre algorithme.

► *Thèse soutenue par* : **Chourouk EL HASSANIEH**

► *Sous la direction de* : Jacques Sainte-Marie (Inria Paris), Samer Israwi (Lebanese University), Bernard Di Martino (Université de Corse), Julien Guillod (LJLL).

**Analyse et approximation numérique de quelques modèles
mathématiques d'écoulements à surface libre**

*Soutenue le 7 décembre 2023
Sorbonne Université*

Résumé :

Cette thèse est dédiée à l'étude de certaines équations aux dérivées partielles décrivant les écoulements à surface libre en mécanique des fluides et se compose de trois projets interconnectés. Le premier projet étudie l'implémentation de schémas numériques pour le système de Saint-Venant en utilisant une approche cinétique, en se concentrant principalement sur le cas unidimensionnel. En adoptant une approche cinétique implicite en temps, ce travail offre un avantage de calcul par rapport aux schémas implicites traditionnels, puisqu'il présente une expression explicite pour l'inverse de la matrice. Le schéma cinétique implicite préserve la positivité de la hauteur d'eau et satisfait une inégalité d'entropie. La deuxième contribution traite de l'analyse de la stabilité des équations d'Euler hydrostatiques. Une transformation est introduite pour réécrire ces équations comme un système quasi-linéaire généralisé avec un opérateur intégral, établissant l'équivalence dans des conditions spécifiques. Cette transformation permet de mieux comprendre le spectre de l'opérateur matriciel. En outre, nous proposons une discrétisation exacte multicouche de Po, qui pourrait être utilisée pour résoudre numériquement le système transformé et nous analysons son spectre. La troisième et dernière contribution est un travail en cours visant à fournir une justification mathématique des lois d'équilibre mécanique du

système bidimensionnel de Boussinesq. Ce système est largement utilisé dans les applications des zones littorales et il est utile d'évaluer sa précision en termes de principes fondamentaux tels que la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Nous donnons des estimations pour quantifier les erreurs introduites par ces approximations, offrant ainsi des indications précieuses sur la précision du système de Boussinesq.

► *Thèse soutenue par* : **Anatole GALLOUËT**

► *Sous la direction de* : Boris Thibert (Université Grenoble Alpes), Quentin Mérigot (Université Paris-Saclay).

Problèmes inverse en optique non-imageante et équations au jacobien généré

Soutenue le 18 octobre 2023

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes

Résumé :

This thesis is motivated by non imaging optics problems. To begin with, we introduce the field of non-imaging optics. We see that some of the problems arising in this field can be recast as optimal transport problems or more generally as generated Jacobian equations (GJE). This work is divided in two parts.

The first part deals with the stability of solutions to optimal transport problems under variation of the measures, and is closely related to the convergence of numerical approaches to solve optimal transport problems and justifies many of the applications of optimal transport.

The second part deals with Generated Jacobian equations, that have been introduced by Trudinger [Disc. cont. dyn. sys (2014), pp. 1663–1681] as a generalization of Monge- Ampère equations arising in optimal transport. We present and study a damped Newton algorithm for solving these equations in the semi-discrete setting, meaning that one of the two measures involved in the problem is finitely supported and the other one is absolutely continuous.

Mots-clés : Optimal transport, Generated Jacobian equations

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Marina GARDELLA**
- ▶ *Sous la direction de* : Miguel Colom (CNRS, ENS Paris-Saclay), Jean-Michel Morel (ENS Paris-Saclay) et Pablo Musé (universidad de la Republica, Uruguay).

**The avatars of noise in digital images
and their use in image forensics**

Soutenue le 2024

Centre Borelli, ENS Paris-Saclay, Université de Paris

Résumé :

Images serve as potent information vectors, conveying a wealth of data and insights through visual representations. Their importance in various domains cannot be overstated, as they offer unique advantages for communication, understanding, and documentation. In an era characterized by the pervasive influence of digital imagery, image forensics represents a vital discipline that addresses the pressing need to uphold the veracity and trustworthiness of digital visual content. Images are naturally endowed with a fingerprint, embedded during the image formation process. Indeed, the creation of a digital image, spanning from its acquisition at the camera sensor to its final storage, imprints distinct artifacts that serve as a unique signature. The goal of this thesis is to retrieve this fingerprint through noise analysis. Along the camera processing pipeline, the initial Poisson noise is transformed by multiple operations tailored to each image formation process, leading to the final compressed image. As a consequence, noise residuals can yield significant forensic insights.

Such cues allow forgery detection. Indeed, though nowadays manipulations have the capability to achieve a high degree of visual fidelity, they concurrently introduce alterations to the intrinsic structure of the image. Such disruptions in the inherent fingerprint are exploited by most forgery detection methods to spot tampered regions. The first part of this thesis focuses on this problem. Here, we propose two methods based on the detection of local inconsistencies of the noise model with respect to a background model. In particular, the Noisesniffer method adopts an a contrario validation step, aiming at controlling the expected number of false detections. We then explore the possibility of learning the forensic traces by means of deep convolutional networks instead of using hand-crafted features. Finally, this part ends with the evaluation of forgery detection methods themselves. We propose a methodology and a dataset to study the sensitivity of the detection

tools to specific traces, as well as their ability to perform detection without semantic cues in the image.

Source camera forensics tasks such source camera model identification or source device certification can also be achieved using the said fingerprint. Indeed, some of the forensic traces embedded during the image acquisition process are model-unique or device-unique. By isolating such signals, information about the source device can be obtained. The second part of this thesis focuses on these tasks. Here, we explore learning approaches to determine if a pair of images contain the same forensic traces. In addition, we propose a new statistical approach for source camera certification based on PRNU traces. Such an approach relies on two hypothesis tests based on local correlations which do not require computing empirical distributions. Still, nothing prevents the forgers from hiding the image fingerprint. This is why we devote the final part of this thesis to the analysis of different counter-forensics attacks. Highlighting the limitations of current forensic methods is important so that one can know how much trust can be put into an image and to encourage the exploration of alternative authentication methods. To this end, we analyze a novel approach recently introduced in the literature for camera trace erasing. This approach relies on an innovative hybrid loss for network training defined as a combination of three different losses : the embedded similarity loss, the truncated fidelity loss and the cross-identity loss. In addition, we propose a new counter-forensic attack based on diffusion models.

► *Thèse soutenue par* : **Morgane GARREAU**

► *Sous la direction de* : Franck Nicoud (IMAG, Montpellier) et Simon Mendez (IMAG, Montpellier) et Ramiro Moreno (ALARA expertise, Strasbourg).

**Simulations hémodynamiques pour l'IRM :
contrôle qualité, optimisation et intégration à la pratique clinique**

*Soutenue le 21 novembre 2023
IMAG, Université de Montpellier*

Résumé :

L'étude de l'hémodynamique, c'est-à-dire de la dynamique du sang, est considérée par la communauté médicale comme un biomarqueur essentiel pour caractériser l'apparition et le développement des pathologies car-

diovasculaires. Historiquement, l'imagerie à résonance magnétique (IRM), technique non-invasive et nonionisante, permet de reconstruire des images morphologiques des tissus biologiques. Des progrès récents lui donnent aussi accès à l'évolution temporelle du champ de vitesse du sang dans les trois directions de l'espace. Cette technique, connue sous le nom d'IRM de flux 4D, est encore peu utilisée dans la pratique clinique étant donné sa faible résolution spatio-temporelle et sa longue durée d'acquisition. Cette thèse a pour but d'étudier les performances de la séquence de flux 4D. Dans un premier temps, l'impact de séquences accélérées (GRAPPA, compressed sensing) sur la reconstruction des champs de vitesse est étudié dans un cadre combinant mesures expérimentales sur un fantôme imageur de flux et simulations de mécanique des fluides numérique (MFN). On montre que l'acquisition hautement accélérée avec compressed sensing est en bon accord avec la simulation numérique si les corrections appropriées sont appliquées, notamment par rapport aux courants de Foucault. Dans un second temps, l'impact d'un paramètre de séquence, l'écho partiel, est examiné. L'étude est conduite avec une méthodologie couplant la simulation du processus d'acquisition IRM avec la MFN et permettant de reconstruire des images synthétiques d'IRM. Cette configuration permet de s'affranchir des erreurs expérimentales pour s'intéresser uniquement aux erreurs intrinsèques au processus IRM. Deux séquences constructeur réalistes, sans et avec écho partiel, sont simulées sur deux types d'écoulement dans un fantôme de flux numérique. Pour les deux écoulements, la séquence avec écho partiel donne globalement de meilleurs résultats. Il est ainsi suggéré que l'effet d'atténuation des artéfacts de déplacement permis par l'écho partiel est plus important que celui de réduction du signal IRM acquis que ce paramètre engendre. De plus, la simulation couplée IRM-MFN apparaît comme un outil d'intérêt dans le contexte de la conception et de l'optimisation de séquences IRM et pourrait être étendu à d'autres types de séquences.

► *Thèse soutenue par* : **Diala HAWAT**

► *Sous la direction de* : Rémi Bardenet (CNRS, Université de Lille), Raphaël Lachière-Rey (université Paris-Cité).

Processus ponctuels pour l'intégration numérique

Soutenue le 27 novembre 2023

Résumé :

La méthode de Monte Carlo estime une intégrale en utilisant des évaluations de l'intégrande en certains points appelés nœuds, qui peuvent être choisis comme les points d'un processus ponctuel. Alors que la méthode Monte Carlo brute repose sur le processus ponctuel de Poisson homogène (PPP), certains processus de points plus régulièrement répartis produisent des méthodes avec une décroissance plus rapide de la variance. Dans cette thèse, nous étudions deux familles de processus ponctuels réguliers qui sont des candidats potentiels pour accélérer la convergence de la méthode Monte Carlo brute. La première famille est celle des processus ponctuels hyperuniformes (HUPPs). Un HUPP est caractérisé par la variance du nombre de points dans une grande fenêtre qui évolue plus lentement que le volume de cette fenêtre. En particulier, un HUPP fournit un estimateur Monte Carlo des volumes avec une décroissance de la variance plus rapide que la méthode Monte Carlo brute. Malheureusement, prouver qu'un processus ponctuel est hyperuniforme est généralement difficile. Dans le but de fournir des outils statistiques pour identifier les HUPPs, nous examinons une mesure spectrale appelée la fonction de structure, dont la décroissance autour de zéro permet de diagnostiquer l'hyperuniformité. Nous étudions la dérivation des estimateurs existants de la fonction de structure et contribuons un test statistique asymptotiquement valide de l'hyperuniformité. De plus, nous fournissons une librairie Python contenant tous les estimateurs et outils que nous discutons. La deuxième famille de processus ponctuels que nous étudions est constituée des processus ponctuels repoussés, que nous avons construits en utilisant un opérateur de répulsion. L'opérateur de répulsion réduit le regroupement dans une configuration de points en repoussant légèrement les points les uns des autres. Notre principal résultat théorique est que l'application de l'opérateur de répulsion à un PPP fournit une méthode de Monte Carlo non biaisée avec une variance inférieure qu'avec un PPP. De plus, nos simulations numériques mettent en lumière la capacité de l'opérateur de réduire la variance, même lorsqu'il est appliqué à des processus ponctuels plus réguliers que le PPP. Cela suggère que l'application de l'opérateur de répulsion aux nœuds de n'importe quelle méthode de Monte Carlo peut réduire sa variance et ainsi améliorer la précision statistique de la méthode.

► *Thèse soutenue par* : **Yu-Guan HSIEH**

► *Sous la direction de* : Jérôme Malick (CNRS, Grenoble), Franck Iutzeler (Université Toulouse III) et Panayotis Mertikopoulos (CNRS, Grenoble).

**Prise de décision dans les systèmes multi-agents :
délais, adaptabilité et apprentissage dans les jeux**

Soutenue le 7 novembre 2023

Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes

Résumé :

With the increasing deployment of decision-making and learning algorithms in multi-agent systems, it becomes imperative to understand their efficiency and improve their performance. The design and analysis of these systems, however, confront significant challenges. These range from practical implementation issues to the intrinsic complexity of multi-agent dynamics, where agent interactions can be cooperative, competitive, or a mix of the two. On top of this is the presence of non-stationarity, driven by either the unpredictable character of nature or interaction with other strategic entities.

This thesis represents a targeted attempt to navigate this complex landscape, investigating separately two critical aspects : the impact of delays and the interactions among agents with non-aligned interests. This dual focus is due to the relevance of these issues to practical deployment and the inherent difficulty of learning in such systems, aiming to reveal fundamental insights about how information flow and strategic interactions influence the overall system's learning and decision-making processes. Our approaches are grounded in decentralized optimization and game theory, using online learning as a principal methodology to address the non-stationarity of the environment.

More precisely, we delve into the study of a dual averaging algorithm in an asynchronous, delayed cooperative online learning setting, introducing concepts like virtual iterates and faithful permutations for its regret analysis. As for the non-cooperative setup, we investigate agents' convergence to Nash equilibrium and their individual performance guarantees when using optimistic algorithms that integrate a lookahead step. Central to our approaches is the adaptivity of the algorithms and their capability to handle uncertainties during agent interactions, operating seamlessly even in environments where agents lack knowledge or coordination. In light of these

developments, we aspire to offer adaptive guarantees that remain robust amidst dynamic, uncertain environments.

Mots-clés : Decentralized, Delay, Uncertainty, Adaptivity, Learning in games

► *Thèse soutenue par* : Antonin JACQUET

► *Sous la direction de* : Jean-Baptiste Gouéré et Olivier Durieu (université de Tours).

Étude des propriétés des géodésiques en percolation de premier passage

Soutenue le 21 décembre 2023

Institut Denis Poisson, Université de Tours

Résumé :

La thèse porte sur les géodésiques en percolation de premier passage.

On se place sur le graphe \mathbb{Z}^d et on considère une famille de variables aléatoires positives, indépendantes et identiquement distribuées indexées par l'ensemble des arêtes, appelées temps de passage.

On définit le temps de tout chemin fini comme la somme du temps de passage de chacune de ses arêtes. Les géodésiques sont alors les chemins de temps minimaux.

On s'intéresse à la question suivante. Considérons une propriété locale de l'environnement des temps de passage. On appelle cela un motif. Combien de fois une géodésique emprunte un translaté de ce motif?

Sans hypothèse de moment sur la loi des temps de passage, et en autorisant un atome en l'infini, on montre que pour un motif donné, en dehors d'un événement de probabilité exponentiellement faible en la distance entre les extrémités des géodésiques, le nombre de translatés de ce motif empruntés par les géodésiques est linéaire en la distance entre les extrémités.

On donne également quelques applications de ce résultat.

Mots clés : Percolation de premier passage; Géodésiques.

- ▶ *Thèse soutenue par* : Mehdi JADOUI
- ▶ *Sous la direction de* : François-Xavier ROUX (Sorbonne Université).

Solveurs de Krylov robustes pour la résolution partitionnée et monolithique du système adjoint couplé aéro-structure

*Soutenue le 16 novembre 2023
LJLL, Sorbonne Université*

Résumé :

L'optimisation multidisciplinaire à base de gradient est une technique largement utilisée dans l'industrie aéronautique et plus particulièrement dans le cadre du dimensionnement de voilures flexibles. Il existe essentiellement deux approches pour le calcul du gradient, à savoir l'approche tangente et l'approche adjointe. Pour une optimisation de forme d'une structure flexible, il y a en général peu de fonctions d'intérêt et de nombreux paramètres de conception. Il est donc adapté d'utiliser la méthode adjointe. Nous nous intéressons à l'amélioration des techniques numériques de résolution du problème adjoint couplé fluide-structure. Dans ce travail, nous considérons l'approche partitionnée d'une part et l'approche monolithique d'autre part. La première approche a l'avantage de résoudre alternativement le problème fluide et structure en réutilisant des solveurs disciplinaires existants. Elle souffre cependant de limitations numériques dès qu'il s'agit de résoudre des problèmes couplés raides et peut diverger dans le cas de fort couplage aéroélastique. L'approche monolithique consiste à résoudre le système adjoint couplé de manière globale et permet d'éliminer les limitations de l'approche partitionnée. En contrepartie elle requiert la mise en place de stratégies de préconditionnement robustes typiquement basées sur un complément de Schur approché et également une mise à l'échelle appropriée du système couplé. Ce mémoire de thèse se compose de trois parties. Tout d'abord nous avons amélioré la résolution du problème adjoint purement fluide en proposant des stratégies de préconditionnement robustes couplées à des solveurs de Krylov emboîtés. Dans un deuxième temps, la convergence de l'approche partitionnée a été améliorée en introduisant des techniques de recyclage d'espace invariant approché entre cycles fluide-structures. Enfin, un solveur monolithique adjoint couplé a été développé et comparé à l'approche partitionnée. Nous démontrons l'efficacité de ces solveurs sur un cas réaliste de calcul adjoint aéroélastique pour l'aile M6 ONERA en écoulement fluide RANS en considérant un modèle de turbulence entièrement

linéarisé. Les résultats numériques ont effectivement montré d'une part l'intérêt du recyclage dans le cadre d'une résolution partitionnée et d'autre part l'intérêt de la résolution monolithique des problèmes numériques raides.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Guillaume JOMEE**
- ▶ *Sous la direction de* : Jean-Marc HÉRARD (EDF).

Simulation de modèles d'écoulements multiphasiques compressibles hors équilibre

*Soutenue le 23 novembre 2023
Aix-Marseille Université*

Résumé :

Cette thèse a pour objectif la simulation d'une classe de modèles d'écoulements multiphasiques compressibles hors équilibre. Le travail central de cette thèse est l'étude du processus de relaxation sous-jacent à ces modèles, souvent supposé acquis dans la littérature. Les conditions, dans le cadre continu, pour que le processus de relaxation soit effectif sont présentées pour certains modèles. En se basant sur cette étude des termes sources et du processus de relaxation, une méthode numérique pour simuler les termes sources des modèles considérés est développée. Le manuscrit comporte quatre parties. Le chapitre un se focalise sur l'examen de la relaxation effective en pression, pour quatre modèles multiphasiques distincts. Il permet de mettre en évidence une condition portant sur l'écart (ou les écarts) de pression entre phases, afin d'assurer effectivement la relaxation (attendue) en pression au cours du temps. Le premier modèle diphasique est de type Baer-Nunziato (1986). Le second comporte trois phases immiscibles (2007). Les deux derniers modèles sont hybrides (diphasique ou triphasique) et comportent deux gaz miscibles. Dans le chapitre deux, on examine un modèle diphasique de type gaz-liquide ou liquide-vapeur de type Baer-Nunziato. Le processus de relaxation entre les phases, sous-jacent au modèle, est étudié et les conditions de relaxation effectives sont exhibées et discutées. Cette étude du processus de relaxation continu est ensuite utilisée pour le développement d'une nouvelle méthode numérique. Cette méthode, basée sur une équation d'évolution des écarts entre phases des grandeurs thermodynamiques, et qui implique plusieurs échelles de temps distinctes, est proposée. Elle est par la suite comparée à celle classiquement utilisée

pour traiter les termes sources dans ces modèles, qui consiste à mettre en œuvre une technique découplant les échelles de temps associées à chaque processus de relaxation (pas fractionnaires). L'ordre de convergence attendu est vérifié, et des cas tests homogènes, ou inhomogènes traduisant l'impact d'une onde de choc de gaz sur un lit de gouttes liquides, sont effectués et analysés. La nouvelle méthode est plus stable, plus précise et moins coûteuse pour les cas étudiés. Le troisième chapitre est la suite logique du précédent, avec des objectifs identiques de compréhension et de définition de schémas adaptés au traitement des termes sources, en considérant cette fois le modèle hyperbolique à trois phases immiscibles proposé en 2007. Ici encore, une comparaison des algorithmes avec couplage complet des échelles de temps de relaxation, ou découplage par pas fractionnaires, est réalisée sur la base de plusieurs cas tests. Une application au cadre de l'explosion vapeur est examinée. Enfin, la dernière partie poursuit la stratégie globale précédente, en examinant le modèle diphasique hybride à trois champs (eau liquide, vapeur d'eau et gaz incondensable) proposé en 2019. Ce modèle est hyperbolique et admet une caractérisation entropique, tout comme les modèles immiscibles considérés dans les chapitres précédents. Cette fois encore, une partie d'analyse du modèle continu permet de proposer une stratégie numérique adaptée pour tout jeu d'échelles de temps de relaxation.

► *Thèse soutenue par* : **Nour KERRAOUI**

► *Sous la direction de* : Mourad Choulli (université de Lorraine), Thomas Ourmières-Bonafos (Aix-Marseille Université), Éric Soccorsi (Aix-Marseille Université, Centre de Physique Théorique).

**Analyse mathématique de modèles quantiques :
identification du potentiel d'Iwatsuka et asymptotique spectrale de
l'opérateur de Dirac**

Soutenue le 22 décembre 2023

Aix-Marseille Université

Résumé :

Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans le domaine de l'analyse spectrale des opérateurs de type Schrödinger. La première partie étudie le problème inverse de l'identification du potentiel d'un Hamiltonien d'Iwatsuka à partir

de mesures de vitesse quantique. L'opérateur d'Iwatsuka est un Hamiltonien magnétique défini dans le plan, dont le champ magnétique ne dépend que de la variable longitudinale et tend vers deux valeurs constantes distinctes aux deux extrémités de la droite réelle. Le spectre de cet opérateur est absolument continu et est constitué de bandes. L'opérateur courant associé est défini par la réalisation de la seconde composante de l'observable vitesse pour un ensemble d'états quantiques dont l'énergie est localisée dans la première bande spectrale. Nous montrons que la connaissance de ce type de données détermine le potentiel d'Iwatsuka de façon unique. Dans la seconde partie, nous examinons la structure du spectre de l'opérateur de Dirac dans des domaines du plan qui sont construits comme des voisinages tubulaires de courbes planes. Nous considérons les conditions au bord connues sous le nom de conditions de masse infinie. Le spectre de cet opérateur est symétrique par rapport à l'origine et pour des voisinages tubulaires de faible épaisseur, nous fournissons un développement asymptotique du bas de la partie positive du spectre de cet opérateur, mettant en évidence l'influence de la géométrie à l'aide d'un opérateur effectif. Dans le cas d'un guide d'onde, cet opérateur effectif se présente sous la forme d'un opérateur de Schrödinger électrique pour lequel la courbure de la courbe génératrice du domaine apparaît dans le terme de potentiel électrique. Dans le cas d'un voisinage tubulaire d'un lacet, nous montrons qu'un phénomène lié à la non-simple connexité du domaine introduit en plus un terme de nature magnétique mettant en jeu la longueur du lacet.

► *Thèse soutenue par* : **Enguerrand LAVIGNE**

► *Sous la direction de* : Sylvie Monniaux, Loïc Le Treust (université d'Aix-Marseille), Nicolas Raymond (université d'Angers).

Théorie spectrale de l'opérateur de Pauli

Soutenue le 24 octobre 2023

Aix-Marseille Université

Résumé :

Cette thèse est consacrée à l'analyse asymptotique du bas du spectre d'opérateurs en présence d'un champ magnétique fort en dimension deux. Dans un premier mouvement, on complète les travaux initiés par Ekholm, Kovářík et Portmann au sujet de l'asymptotique du spectre de l'opérateur de

Dirichlet-Pauli sur un domaine annulaire. On décrit l'influence de l'effet Aharonov-Bohm mis en lumière par B. Helffer et M.P. Sundqvist.

Dans l'esprit des travaux de J.-M. Barbaroux, L. Le Treust, N. Raymond et E. Stockmeyer, on s'attache ensuite à étendre ce résultat à l'opérateur de Dirac magnétique avec des conditions de masse infinie au bord d'un anneau. En adaptant une nouvelle caractérisation du spectre par une formule de min-max non linéaire, nous donnons le premier terme de l'asymptotique du bas du spectre positif. Enfin, on considère le Laplacien de Dirichlet avec un champ magnétique uniforme sur un guide d'ondes en dimension deux. Une condition suffisante est donnée sur la courbure et l'épaisseur du guide d'ondes pour assurer l'existence de valeurs propres dans la limite semi-classique. Ce résultat répond négativement à une conjecture formulée par P. Duclos et P. Exner.

► *Thèse soutenue par* : **Antoine LEBLOND**

► *Sous la direction de* : Anne-Laure Dalibard, Julien Guillod (Sorbonne Université)

Caractère bien posé et comportement en temps long de l'équation de Stokes-transport

Soutenue le 10 novembre 2023

LJLL, Sorbonne Université

Résumé :

L'équation de Stokes-transport modélise un fluide incompressible, visqueux et inhomogène, soumis à la gravité. Il s'agit d'un modèle réduit d'océanographie et de sédimentation. La densité est transportée par le champ de vitesse du fluide, satisfaisant à tout instant l'équilibre entre les effets de viscosité, de pression et de gravité, d'après l'équation de Stokes. Dans la première partie, nous établissons le caractère bien posé de ce système dans les domaines bornés et dans un canal infini, au sens faible et pour des données intégrables. La cas du canal inclut des solutions d'énergie infinie, impliquant des espaces de fonctions uniformément localement Sobolev. Ces résultats sont comparés à des travaux antérieurs, dans l'espace et le plan. Dans la deuxième partie, nous nous concentrons sur le comportement en temps long des solutions de l'équation de Stokes-transport dans un canal périodique. Nous montrons qu'une classe de profils stratifiés est stable pour

des perturbations assez petites et régulières. Nous supposons le fluide non-glissant aux bords, ce qui pose des problèmes particuliers dus aux effets de bords induits. Nous obtenons des taux de convergence algébriques et montrons que la densité se réarrange verticalement et de façon monotone. Nous donnons également un développement de type couche limite du profil de densité à proximité des bords. En outre, nous prouvons, en adaptant un résultat antérieur, que tout profil stationnaire est instable pour des perturbations peu régulières. Nous mettons enfin en évidence des propriétés du système, compatibles avec la conjecture selon laquelle la densité tend toujours à se réordonner. Dans la dernière partie, nous menons une analyse numérique de l'évolution d'interfaces de densité de type graphe, gouvernée par l'équation de Stokes-transport. Plusieurs comportements sont observés, de la convergence vers l'équilibre plat à la rupture de graphe. Nous comparons nos observations à des résultats théoriques existants.

► *Thèse soutenue par* : **Romain LHOTTE**

► *Sous la direction de* : Véronique Letort-le Chevalier (CentraleSupélec, Université Paris-Saclay), Jean-Luc Taupin (université Paris-Cité).

Mathematical and computational tools to better understand and optimise tissue compatibility in solid organ transplantation

*Soutenue le 15 décembre 2023
Institut de Physique du Globe de Paris*

Résumé :

Transplantation is an important therapeutic option for end-stage organ failure. However, its success rate transplantation is limited by tissue compatibility between the donor and recipient, which can lead to graft failure, notably via the generation by the recipient of deleterious Donor-Specific Antibodies that inevitably attack the graft. The aim of this PhD thesis, which sits at the intersection of engineering and biology, is to leverage mathematical and computational methodologies with a twofold purpose. First, help better understand the underlying mechanisms of tissue compatibility in transplantation. Second, develop user-friendly softwares to integrate them in the routine of laboratories and in fine improve patient care and augment the success ratio of transplantations. Softwares and models already existed in

the domain, but the lack of features and the suboptimal accuracy of some of them motivated our project.

The first chapter of the results of this thesis focuses on extrapolating (or imputing) HLA (Human Leukocyte Antigen) typings. For technical (evolution of techniques over time), logistical (time constraints for the deceased donor), and financial reasons, the HLA typing typically does not cover all genes of interest and the precision achieved is often lacking, adversely affecting patient care. We have thus developed Machine Learning models and made available, through a web application, a tool named HaploSFHI (www.sfhi-tools.fr) to predict 'high resolution' HLA typings from those of lower resolution. We demonstrate that our models outperform existing approaches on Caucasian data with three French test databases and five non-French ones. The second chapter of the results revolves around the Luminex 'single antigen' test, which is used to detect alloantibodies in a patient's serum. We describe and validate, with an expert consensus and in vitro experiments, a mathematical model called Single Antigen Algorithm (SAGa) designed to automate the analysis and the interpretation of Luminex profiles. A patent application has been filed (the patent was filed on March 20th, 2023, under the reference EP23305374.3) for this approach. SAGa provides a precise quantitative measurement of antibodies in the serum, which no previous publication has offered. The anti-HLA antibody immunisation can be analysed at two levels. On the one hand, the 'standard' level of incompatibilities, that is, serological and antigenic, and on the other hand, the level of eplets, which refer to the polymorphisms defining the HLA antigens. Eplets attract considerable attention in the current literature, as they align more closely with the mechanisms of the immune response.

The third chapter of the results brings together various related studies for a better understanding or exploitation of data relating to the immunological response. We first address the quality controls (both within and across Francophone laboratories) that were conducted beforehand but had not been examined yet. We discuss the variability to expect when a test is repeated in the same lab and the one to expect across different laboratories. Moreover, we demonstrate that the efficacy of the Negative Control Bead and the Negative Control Serum in reducing result variability is overestimated. Subsequently, we introduce two open-source Python libraries : PELC (Python Eplet Load Calculator) and PARD (Physicochemical Amino acid Replacement Distances). These libraries aim to improve accessibility to methods recently documented in the literature evaluating tissue compatibility and/or

an individual's immunocompetence. These methods are based on individuals' genotypes, i.e., their HLA typing. Existing tools and libraries were not integrated with Python, which made their incorporation into Python projects challenging. Our tools not only remedy this but also offer features that were absent in existing tools. E.g., with PELC, there is now the ability to calculate eplet loads on all genes of interest and there is now the option to include Class II interlocus eplets. With PARD, there is now a uniform framework to compute various types of distances or similarities between amino acids.

The methodologies proposed and the software tools developed are relevant for both routine operations and retrospective analyses. Not only are these methods among the most efficient to date for extracting accurate antibody data and HLA typing data during retrospective studies, but they can also help enhance the donor recipient matching in daily tasks. The software tools created during this PhD are now in regular use in several French laboratories. For instance, SAgA has been used in the Saint-Louis hospital's routine procedures since August 2022, facilitated by a software (the software is protected under the reference IDDN.FR.001.070010.000.S.P.2022.00.20700 by the APP (Agence de Protection des Programmes) since February 9th, 2022) that was developed in C and Python.

This work was carried out within the framework of the 'Programme Hospitalier de Recherche Clinique' (PHRC) national project ACORGHILA (2016 call for projects from the 'Direction Générale de l'Offre de Soins' (DGOS), French Ministry of Health), with the aim of clinical research. However, it has demonstrated its value for routine application. The solid foundation laid will allow for the future analysis of the ACORGHILA cohort. Indeed, we have gathered significant French data, which will help to validate and/or refute many theories that previously lacked adequate data. But the potential applications of our work are not limited to the PHRC. With the growth in data volumes and advancements in artificial intelligence, we aim to help grow the synergy between engineering science and biology in the field of Solid Organ Transplantation.

► *Thèse soutenue par* : **Romain LOYER**

► *Sous la direction de* : Lionel Rosier, Antoine Benoît (ULCO Calais).

Contrôle d'équations aux dérivées partielles par des méthodes directes

*Soutenue le 12 décembre 2023
LMPA, Université du Littoral Côte d'Opale, Calais)*

Résumé :

Cette thèse a pour objet l'étude de la contrôlabilité à zéro de certaines équations aux dérivées partielles par des méthodes directes. On s'est intéressé dans un premier temps à une équation de la chaleur dégénérée en guise de travail introductif au problème de contrôlabilité. Pour cela, on a utilisé la méthode de la platitude, une méthode directe et constructive. Ensuite, on s'est focalisé sur la contrôlabilité à zéro d'équations hyperboliques, et plus particulièrement de l'équation des ondes. Un travail indépendant a été effectué sur l'analyse de problèmes aux limites hyperboliques faiblement bien posés pour lequel on a "achevé" l'étude de ces équations en se concentrant sur le cas de la dégénérescence de la condition de Kreiss-Lopatinskii uniforme en zone glancing. Ensuite, on s'est intéressé à l'étude de la contrôlabilité de l'équation des ondes en dimensions un et trois d'espace, le but étant de développer des méthodes de contrôle numérique pour ces équations. On développe des méthodes robustes pour approcher le contrôle. En dimension un, on a opté pour une approche basée sur la méthode backstepping qui fournit la stabilisation en temps fini et en dimension trois, on a établi un principe d'Huygens couplé avec la méthode d'extension du domaine.

► *Thèse soutenue par* : **Ségoène MARTIN**

► *Sous la direction de* : Jean-Christophe Pesquet (CentraleSupélec, Université Paris-Saclay) et Ismail Ben Ayed (École de Technologie Supérieure, Montréal, Canada).

Méthodes variationnelles pour les problèmes de données à grande échelle en imagerie

*Soutenue le 26 janvier 2024
CentraleSupélec, Université Paris-Saclay*

Résumé :

Cette thèse explore l'utilisation de méthodes variationnelles pour aborder les problèmes d'imagerie de grande échelle, tant en termes de dimensionnalité qu'en nombre de données. Elle met un accent particulier sur les problèmes inverses en restauration d'image et la classification en régime dit "few-shot", i.e., avec peu de données labélisées. Le fil conducteur entre les sujets abordés est le développement de méthodes et d'algorithmes à la fois performants, fiables, interprétables et efficaces via des outils d'optimisation avancés.

Dans la première partie de la thèse, nous nous intéressons à la résolution de problèmes inverses de restauration d'image à partir d'une unique observation dégradée de grande taille. Un algorithme innovant de Majoration-Minimisation locale par sous-espace, couplé avec une méthode de pénalisation, est introduit pour l'optimisation lisse et sous contrainte. Des garanties théoriques de convergence sont données et l'efficacité, en terme de temps de convergence, est démontrée sur plusieurs exemples applicatifs. Toujours sur la thématique de la restauration, une étude applicative complète est conduite dans le cadre d'images tridimensionnelles obtenues par microscopie multiphoton, allant de l'estimation de l'opérateur de flou (Point Spread Function ou PSF) jusqu'à la déconvolution. Pour l'étape d'estimation de la PSF, nous proposons un nouveau modèle de calibration basé sur des billes de large diamètre, ainsi qu'un algorithme proximal alterné. Pour la phase de restauration, nous adoptons une formulation contrainte sans paramètre de régularisation, en supposant un bruit gaussien hétéroscédastique.

La seconde partie de la thèse s'intéresse à la classification faiblement supervisée d'images en utilisant des modèles neuronaux pré-entraînés sur d'autres bases de données. Une attention particulière est accordée au scénario transductif, où les prédictions sont effectuées sur un ensemble de données non labélisées plutôt qu'individuellement. L'approche présentée dans cette thèse aborde le problème de la classification "few-shot" en présence d'un déséquilibre de classe dans les données, en mettant en œuvre un critère pénalisé et en effectuant la minimisation par un algorithme alterné efficace. Dans le prolongement de ce travail, nous explorons la classification "zero-shot" et "few-shot" en utilisant des modèles vision-langage qui combinent des représentations visuelles et textuelles, tels que CLIP. Nous présentons la première approche transductive dans ce domaine en utilisant les vecteurs de probabilités fournis par CLIP comme entrées de notre classifieur. Ceci conduit à un problème original de minimisation sur un simplexe. Nous démontrons que des gains de performance significatifs pouvant être obtenus

dans le scénario transductif.

► *Thèse soutenue par* : **Léon MIGUS**

► *Sous la direction de* : Julien Salomon (Inria Paris), Patrick Gallinari (Sorbonne Université).

Réseaux de neurones profonds et équations aux dérivées partielles

Soutenue le 12 décembre 2023

LJLL, Sorbonne Université

Résumé :

L'étude des systèmes physiques, modélisés par des équations aux dérivées partielles, représente une pierre angulaire de la recherche scientifique. Ces équations, qui décrivent la relation entre une fonction et ses dérivées partielles à travers différentes variables, sont essentielles pour modéliser divers phénomènes avec des applications en climatologie ou astronomie par exemple. La récente accessibilité en masse des données a favorisé l'essor des méthodes basées sur les données et plus particulièrement des méthodes d'apprentissage profond (Deep Learning, DL), qui peuvent apprendre des modèles complexes en utilisant des grandes quantités de données. Cependant, pour les systèmes physiques, même avec une quantité apparemment importante de données, les données sont souvent rares par rapport à la complexité des problèmes, ce qui constitue un défi pour ces méthodes d'apprentissage profond. De plus, ces problèmes posent des défis particuliers aux algorithmes de DL, en pouvant être mal posés, chaotiques ou très sensibles aux conditions initiales. En plus de ces défis, des garanties théoriques ou expérimentales de convergence sont recherchées, ce que les méthodes DL peuvent ne pas avoir. Dans cette thèse, nous nous attaquons à certains de ces défis par trois approches distinctes. Dans la première partie de ce travail, nous appliquons des concepts de l'analyse numérique au DL, en offrant deux perspectives : - l'incorporation de schémas numériques multi-grilles dans une architecture DL multi-échelle, démontrant son efficacité dans la résolution de la loi de Darcy et des équations de Burgers 1D visqueuses et non stationnaires. - l'adaptation de schémas numériques implicites dans des réseaux de neurones profonds, garantissant la stabilité des prévisions pour les systèmes dynamiques par le biais de certaines contraintes sur les poids du réseau, conduisant à de meilleurs résultats de prévision à long terme

pour deux équations de transport. Dans la deuxième partie de ce travail, nous concevons un modèle hybride pour aborder la conception de la loi de frottement dans les équations de Saint-Venant. Cela implique l'apprentissage de la loi de frottement à partir des observations à travers un schéma numérique. Les expériences consistent en une vaste analyse de la robustesse et de la convergence pour un cas stationnaire et confirmer l'efficacité sur un cas dynamique. Dans la troisième partie de ce travail, nous explorons les méthodes continues à travers deux travaux basés sur les représentations neuronales implicites (Implicit Neural Representations, INR) : - INFINITY est une méthode fondée sur les INRs qui peut être appliquée aux problèmes statiques. Elle est testée sur les équations de RANS pour la modélisation de profils aérodynamiques, et conduit à une prédiction correcte des champs physiques et des coefficients de traînée et de portance. - TimeFlow est un algorithme général qui utilise les INR pour imputer et prévoir des séries temporelles. De par sa nature continue, TimeFlow peut gérer les données manquantes, l'échantillonnage irrégulier et les observations non alignées provenant de capteurs multiples.

► *Thèse soutenue par* : **Florian MIRALLES**

► *Sous la direction de* : Bruno Koobus (IMAG, Montpellier).

Simulation aérodynamique et aéroacoustique d'écoulements massivement décollés par des modèles de turbulence hybrides et de transition

*Soutenue le 17 novembre 2023
IMAG, Université de Montpellier*

Résumé :

Ce travail est une contribution à la simulation numérique d'écoulements turbulents massivement décollés dans un but d'application industrielle. Après avoir introduit les modélisations de la turbulence et les ingrédients numériques utilisés dans nos applications, nous présentons des simulations d'écoulements de cylindre en régime supercritique et autour de profils d'aile de type NACA à plusieurs degrés d'incidence en utilisant différents modèles RANS, dont le modèle $k - R$ récemment développé, ainsi que différentes approches hybrides. Ces dernières concernent le modèle DDES, et des combinaisons de type RANS/DVMS ou DDES/DVMS. Dans un deuxième temps,

une stratégie de transition laminaire-turbulent est développée et introduite au sein d'un modèle RANS bas-Reynolds $k - \epsilon$, puis de l'approche hybride RANS/DVMS. Les performances du modèle hybride utilisant la stratégie de transition sont évaluées sur des simulations d'écoulements autour d'un cylindre circulaire pour une large plage de régimes d'écoulement allant du sous-critique au supercritique. Dans une dernière partie, nous présentons des applications aéroacoustiques pour les différents problèmes l'aérodynamique qui ont été étudiés dans ce travail.

► *Thèse soutenue par* : Ana-Antonia NEACȘU

► *Sous la direction de* : Jean-Christophe Pesquet (CentraleSupélec, Université Paris-Saclay) et Corneliu Burileanu (University Polithenica of Bucharest, Roumanie).

Méthodes robustes d'apprentissage profond inspirées d'algorithmes de traitement du signal

Soutenue le 4 décembre 2023

*Université nationale des sciences et technologies Politehnica Bucarest
(cotutelle CentraleSupélec, Université Paris-Saclay)*

Résumé :

Comprendre l'importance des stratégies de défense contre les attaques adverses est devenu primordial pour garantir la fiabilité et la résilience des réseaux de neurones. Alors que les mesures de sécurité traditionnelles se focalisent sur la protection des données et des logiciels contre les menaces externes, le défi unique posé par les attaques adverses réside dans leur capacité à exploiter les vulnérabilités inhérentes aux algorithmes d'apprentissage automatique. Dans la première partie de la thèse, nous proposons de nouvelles stratégies d'apprentissage contraint qui garantissent la robustesse vis-à-vis des perturbations adverses, en contrôlant la constante de Lipschitz d'un classifieur. Nous concentrons notre attention sur les réseaux de neurones positifs pour lesquels des bornes de Lipschitz précises peuvent être déduites, et nous proposons différentes contraintes de norme spectrale offrant des garanties de robustesse, d'un point de vue théorique. Nous validons notre solution dans le contexte de la reconnaissance de gestes basée sur des signaux électromyographiques de surface (sEMG). Dans la deuxième partie de la

thèse, nous proposons une nouvelle classe de réseaux de neurones (ACNN) qui peut être considérée comme un intermédiaire entre les réseaux entièrement connectés et ceux convolutionnels. Nous proposons un algorithme itératif pour contrôler la robustesse pendant l'apprentissage. Ensuite, nous étendons notre solution au plan complexe et abordons le problème de la conception de réseaux de neurones robustes à valeurs complexes, en proposant une nouvelle architecture (RCFF-Net) pour laquelle nous obtenons des bornes fines de la constante de Lipschitz. Les deux solutions sont validées en débruitage audio. Dans la dernière partie, nous introduisons les réseaux ABBA, une nouvelle classe de réseaux de neurones (presque) positifs, dont nous démontrons les propriétés d'approximation universelle. Nous déduisons des bornes fines de Lipschitz pour les couches linéaires ou convolutionnelles, et nous proposons un algorithme pour entraîner des réseaux ABBA robustes. Nous démontrons l'efficacité de l'approche proposée dans le contexte de la classification d'images.

► *Thèse soutenue par* : **Thi Thanh Yen NGUYEN**

► *Sous la direction de* : Olivier Bouaziz, Antoine Chambaz (université Paris Cité).

Optimal transport-based machine learning with applications to genomics and actuarial science

Soutenue le 14 décembre 2023

MAP5, Université Paris Cité

Résumé :

Optimal transport (OT) is a powerful mathematical theory at the interface between the theories of optimization and probability, with many applications in a wide range of fields. This thesis presents the application of OT and statistics to two domains : biology and actuarial sciences.

The first part of the thesis addresses the biological challenge of better understanding micro-RNA (miRNA) regulation in the striatum of Huntington's disease (HD) model mice. To do so, we build several algorithms designed to learn a pattern of correspondence between two data sets in situations where it is desirable to match elements that exhibit a relationship belonging to a known parametric model. In the motivating case study, the challenge is to

better understand micro-RNA regulation in the striatum of Huntington's disease model mice. The algorithms unfold in two stages. First, an optimal transport plan P and an optimal affine transformation are learned, using the Sinkhorn-Knopp algorithm and a mini-batch gradient descent. Second, P is exploited to derive either several co-clusters or several sets of matched elements. A simulation study illustrates how the algorithms work and perform. The real data application further illustrates their applicability and interest. The second part of thesis addresses an actuarial problem related to drought events in France. Drought events rank as the second most costly natural disasters within the French legal framework of the natural disaster compensation scheme. A critical aspect of the national compensation scheme involves cities submitting requests for the government declaration of natural disaster for a drought event as a key step. We take on the challenge of forecasting which cities will submit such requests. The problem can be tackled as a classification task, leveraging the power of classification algorithms. Taking a slightly different perspective, we introduce an alternative procedure that hinges on OT and iPiano, an inertial proximal algorithm for nonconvex optimization. The optimization problem is designed so as to yield a sparse vector of predictions because it is known that relatively few cities will submit requests. Additionally, we develop a hybrid procedure that synergistically combines and utilizes both types of predictions, resulting in enhanced forecasting accuracy. The real data application is presented and discussed in details. The convergence of the iPiano algorithm is established, using the notion of α -minimal structures.

Keywords : Huntington's disease; matching; natural disasters; omics data; optimal transport; proximal algorithm; Sinkhorn algorithm; Sinkhorn divergence.

► *Thèse soutenue par* : **Daniel PELAEZ ZAPATA**

► *Sous la direction de* : Frédéric Dias (ENS Paris-Saclay) et Vikram Pakrashi (University College Dublin).

Beyond the Sea Surface :
Exploring Ocean Wave Measurements From Multiple Perspectives

Soutenue le 6 Février 2024
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay, Université de Paris

Résumé :

This thesis explores ocean wave measurements from multiple perspectives, extending the analysis beyond their visual manifestation on the sea surface. Existing limitations in measurement technologies hinder a full understanding of aspects such as directional wave spectrum, wave breaking processes, and wave-induced bubble plumes. This study integrates data from various platforms, including bottom-mounted sensors, surface buoys, and satellites, addressing spatial and temporal coverage limitations. A novel wavelet-based technique for directional wave spectrum estimation is presented, showing consistent performance and advantages over conventional methods. Analysis of directional wave spreading reveals narrow distributions at the spectral peak and asymmetric broadening at lower and higher frequencies. The thesis also compares GPS buoy data with satellite-based observations from the CFOSAT/SWIM mission. The acoustic properties of ocean waves are examined through measurements of bubble plumes, revealing a relationship between wind speed, bubble plume depth, and whitecapping coverage. The role of Langmuir circulation in transporting bubble plumes is highlighted. Underwater noise and its correlation with environmental variables are investigated using a bottom-mounted hydrophone. Overall, the thesis provides a comprehensive description of ocean waves, offering valuable insights into complex air-sea interactions.

► *Thèse soutenue par* : **Arthur SAHAKIAN**

► *Sous la direction de* : Francois Hamel, Enea Parini (Aix-Marseille Université).

Polyharmonic Eigenvalue Problems of the Steklov Type

Soutenue le 19 décembre 2023

Aix-Marseille Université

Résumé :

Cette thèse porte sur deux problèmes de valeurs propres de type Steklov pour l'opérateur biharmonique : le problème classique et une variante de celui-ci. En particulier, la minimisation des valeurs propres dans la classe des domaines convexes, tant en deux qu'en trois dimensions, est étudiée. Dans la première partie, les deux problèmes sont présentés et des bornes explicites sur la première valeur propre de chaque problème sur les ellipses

sont dérivées. En utilisant ces bornes, l'optimalité globale de la sphère est démontrée dans la classe des ellipses sous contrainte de diamètre pour la première valeur propre des deux problèmes. Dans la deuxième partie, les dérivées de forme du premier et du deuxième ordre des valeurs propres simples des deux problèmes sont calculées, et la minimalité locale de la sphère pour la première valeur propre du problème variant est démontrée dans toutes les dimensions, sous les contraintes de volume et de surface. Dans la troisième partie de cette thèse, la méthode des solutions fondamentales (MFS) est mise en œuvre pour étudier numériquement les valeurs propres des deux problèmes, en dimensions deux et trois. En utilisant cette méthode, les minimiseurs globaux des premières valeurs propres du problème classique sont obtenus numériquement dans la classe des domaines strictement convexes et lisses, en utilisant la notion de fonctions de support du bord. Enfin, en couplant l'algorithme MFS avec l'Optimisation Bayésienne, les valeurs propres du problème variant sont étudiées dans la classe des domaines strictement convexes, représentés par des courbes de Bézier d'ordre deux et trois. De plus, les valeurs propres des deux problèmes sont optimisées dans la classe des polygones et polyèdres. Mots-clés : opérateurs biharmoniques, valeurs propres de Steklov, méthode de la solution fondamentale, optimisation convexe, optimisation bayésienne.

► *Thèse soutenue par* : **Antoine SALMONA**

► *Sous la direction de* : Agnès Desolneux (CNRS, ENS Paris Saclay) et Julie Delon (université Paris Cité).

Transport of probability distributions across different Euclidean spaces

*Soutenue le 6 décembre 2023
MAP5, Université Paris Cité*

Résumé :

Dans cette thèse, nous étudions trois problèmes liés au transport de mesures qui vivent dans des espaces euclidiens différents, les deux premiers dans le contexte du transport optimal et le dernier dans le contexte de la modélisation générative. Dans la partie sur le transport optimal, nous étudions d'abord le comportement des généralisations communes du transport op-

timal, dont celle dite de Gromov-Wasserstein, entre des distributions gaussiennes qui vivent sur des espaces non directement comparables. Ensuite, nous concevons une distance de transport optimal entre des mélanges de gaussiennes de dimensions différentes. Finalement dans la partie sur la modélisation générative, nous étudions l'expressivité des modèles génératifs en relation avec la constante de Lipschitz de leur fonction de transport.

► *Thèse soutenue par* : **Nourelhouda TAACHOUCHE**

► *Sous la direction de* : Salim Bouzebda (Université de Technologie de Compiègne).

Des contributions théoriques aux U-processus conditionnelles dans un cadre abstrait

Soutenue le 1er décembre 2023

Laboratoire de Mathématiques Appliquées de Compiègne, Université de Technologie de Compiègne

Résumé :

Les U-statistiques, une classe fondamentale de statistiques, servent à modéliser des quantités d'intérêt impliquant des réponses multi-sujets. Elles généralisent le concept de moyenne empirique en considérant des sommes de m -uplets distincts d'observations tirées d'une variable aléatoire \mathbf{X} . Cette thèse présente une nouvelle approche pour estimer des U-statistiques conditionnelles à noyau de fenêtre aléatoire en utilisant des observations i.i.d. dans \mathbb{R}^{pq} ou dans des espaces généraux. L'objectif est d'améliorer l'estimateur classique de Stute. Nous établissons la convergence uniforme de l'estimateur proposé à la fois en \mathbf{t} et en termes de fenêtre de lissage, constituant une avancée significative, et en termes d'une classe $\varphi \in \mathbf{F}$ sous certaines conditions d'entropie, en tenant compte des cas bornés et non-bornés. De plus, dans le même contexte, nous démontrons la convergence uniforme en termes de fenêtre de lissage pour les estimateurs non paramétriques de la fonction de régression pour les variables censurées. En généralisant notre recherche, cette thèse développe également des résultats de convergence forte et uniforme pour des estimateurs non-paramétriques non standard sur les variétés riemanniennes avec des noyaux intégrables de Riemann. Il est important de noter que les noyaux isotropes discutés dans

cette thèse diffèrent des noyaux couramment utilisés dans les problèmes statistiques, tels que ceux de la classe de Vapnik-Chervonenkis. De plus, nous établissons la convergence uniforme dans le même cadre pour les estimateurs non-paramétriques de la fonction de régression dans le cadre des données censurées et nous démontrons une convergence forte et uniforme pour les estimateurs de type Nadaraya-Watson, présentant une application indépendante. Nous obtenons également des résultats de convergence forte uniforme sur les variétés riemanniennes avec des noyaux intégrables de Riemann pour les U-processus conditionnels. Cette étude établit également des inégalités d'oracle et des bornes supérieures pour les estimations de U-statistiques conditionnelles basées sur les noyaux, couvrant un large éventail d'espaces métriques. Plus précisément, notre analyse englobe les espaces métriques en présence d'un opérateur autoadjoint positif caractérisé par une régularité gaussienne. Il est à noter que la vitesse de convergence caractérisée dans notre étude est optimale dans certains cas particuliers. Ces résultats théoriques servent d'outils fondamentaux pour faire progresser le domaine des données de nature complexe, avec des applications potentielles comprenant l'application des fonctions de distribution conditionnelles, le coefficient de corrélation de Kendall, l'analyse des U-statistiques conditionnelles indexées par des ensembles, les U-statistiques généralisées et les problèmes de discrimination. De plus, nous avons mené une étude de simulation pour évaluer les performances des estimateurs proposés.

► *Thèse soutenue par* : **Émilie TÉZENAS DU MONTCEL**

► *Sous la direction de* : Amandine Véber (CNRS, université Paris Cité), Sylvain Billiard (Evo-Eco, université de Lille) et Tatiana Giraud (université Paris-Saclay).

**Modèles mathématiques pour l'étude de l'interaction entre
suppression de recombinaison et mutations délétères au voisinage
d'un locus de type sexuel**

Soutenue le 27 octobre 2023

MAP5, Université Paris Cité

Résumé :

Cette thèse propose et développe plusieurs modèles stochastiques permettant d'avancer dans la compréhension de l'évolution de la suppression de

recombinaison sur les chromosomes sexuels et de type sexuel. La recombinaison est un mécanisme d'échange de parties de chromosomes, qui crée de nouvelles combinaisons d'allèles. Cependant, de larges régions de suppression de recombinaison ont été observées chez de nombreuses espèces englobant des gènes impliqués dans la compatibilité lors de la reproduction sexuée (gènes déterminant le sexe ou le type sexuel). Les mécanismes induisant l'extension de la zone sans recombinaison au-delà de ces gènes impliqués dans la compatibilité sexuelle font encore débat. Dans cette thèse, on met en place différentes approches mathématiques pour étudier l'interaction entre la dynamique des mutations délétères et celle d'un suppresseur de recombinaison. Le premier chapitre a permis, grâce à l'analyse d'un modèle déterministe simple et à des simulations d'un modèle stochastique plus complexe, de montrer l'effet de la présence de mutations délétères à plusieurs étapes de l'évolution de la suppression de recombinaison. Le deuxième chapitre se concentre sur la dynamique des mutations délétères au voisinage d'un locus en permanence hétérozygote et dans des populations d'individus pouvant se reproduire par allo- ou auto-fécondation. On modélise l'évolution initiale de mutations délétères au moyen d'un processus de branchement multitype, dont on étudie la criticité et la distribution du temps d'extinction. Enfin, le troisième chapitre compare l'effet de l'accumulation de mutations délétères chez des individus autofécondants selon qu'ils peuvent recombiner ou non. On utilise un processus de sauts à valeurs mesures sur un espace de traits à trois dimensions pour étudier l'évolution de la charge mutationnelle d'individus possédant un locus de type sexuel toujours hétérozygote.

► *Thèse soutenue par* : **Cong Bang TRANG**

► *Sous la direction de* : Éric Blond et Athanasios Batakis (université d'Orléans).

Simulation numérique de l'imprégnation non-réactive 2D des milieux poreux par perolation en gradient auto-organisé

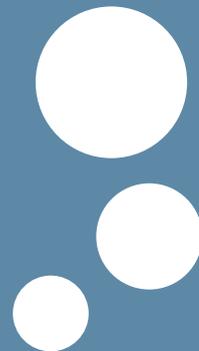
Soutenue le 15 décembre 2023

Laboratoire de Mécanique, Université d'Orléans

Résumé :

L'imprégnation réactive concerne de nombreux domaines de la science et de l'ingénierie, tels que la corrosion dans l'industrie sidérurgique, les composites et le génie chimique. Les modélisations numériques classiques (méthode des différences finies (FDM), méthode des éléments finis (FEM), méthode des volumes finis (FVM)) implémentées dans les codes de simulation commerciaux peuvent prédire le processus d'imprégnation non réactive dans les matériaux poreux et nécessitent plusieurs propriétés matérielles. Dépendant du type de milieu poreux et du poids du fluide imprégné, la force de gravité peut avoir des effets insignifiants dans un matériau poreux rigide et résistant tel que la roche ou un matériau réfractaire et un fluide léger, mais les effets servent dans un matériau mou et faible tel que le sable ou l'argile et un fluide lourd. Dans cette thèse, nous aimerions étudier le "cas de non-gravité" correspondant à un matériau rigide et à un fluide léger. En termes de modélisation, l'équation de Richards, une équation aux dérivées partielles (EDP) hautement non linéaire, est utilisée pour décrire ce processus. Néanmoins, sur le plan numérique, l'équation nécessite souvent des moyens informatiques importants en raison de la discrétisation fine dans l'espace, ce qui entraîne un temps de calcul élevé. Elle nécessite également un petit incrément de temps pour assurer la convergence des résultats. Par conséquent, un problème numérique bien connu appelé oscillations parasites affecte la précision des résultats. Pour répondre à ce problème, une méthode a été proposée avec succès pour reproduire les phénomènes d'imprégnation non réactive dans les cas 1D sans résoudre l'équation de Richards d'une manière moins coûteuse en temps et qui garantit la précision numérique. Cette méthode, appelée modèle de percolation de gradient auto-organisé (SGP), utilise des types de fonctions gaussiennes comme valeur moyenne de la distribution normale pour simuler l'imprégnation 1D. L'évolution de cette méthode peut être décrite par l'augmentation de l'écart-type de cette fonction gaussienne au cours du temps. Les résultats obtenus sont excellents par rapport à l'expérience en laboratoire et à la simulation par la méthode des éléments finis. Cependant, les types de fonctions gaussiennes présentent un inconvénient majeur : elles ne peuvent décrire la diffusion qu'autour d'un seul point. Dans le cas 1D, nous pouvons étendre cette fonction d'un type de frontière "un point" à un type de frontière "une ligne" car il n'y a pas de différence entre les deux. Cependant, dans le cas de la 2D, les nouvelles conditions limites de la 2D exigent un comportement différent de l'écoulement dans de nombreuses directions. Il est donc impossible d'étendre directement la fonction 1D-SGP aux cas 2D. C'est pourquoi il faut

proposer un nouveau développement stimulant pour la direction de l'écoulement et les conditions aux limites afin d'obtenir un nouveau modèle de saturation en 2D alternatif à l'approche PDE. Cette thèse présente un modèle probabiliste de percolation de gradient auto-organisé en 2D (2D-SGP) basé sur le modèle 1D-SGP pour décrire l'imprégnation en 2D dans les milieux poreux. Le modèle définit la direction du flux à travers un cluster en utilisant la méthode de percolation de gradient avec une probabilité spécifique définie par le résultat du cluster du pas de temps précédent combiné avec des opérateurs de double convolution. Nous pouvons également utiliser ce cluster pour résoudre le second problème : les conditions aux limites en 2D. Cependant, le résultat du cluster n'a que deux états (0 et 1) en raison de la définition de la méthode de percolation du gradient. Nous proposons donc une nouvelle méthode d'interpolation et d'indexation pour obtenir une saturation macroscopique en 2D. Cette méthode utilise une fonction particulière dans 1D-SGP avec quelques modifications et une fonction d'index pour interpoler le cluster.



par :

*Thomas HABERKORN¹ – Université d'Orléans,
Responsable de la rubrique « Annonces de colloques »*

MARS 2024

► PROGRAMME "MATERIALS INFORMATICS"

du 4 Mars au 24 Mai 2024, à Chicago (USA)

<https://www.imsi.institute/activities/data-driven-materials-informatics>

► COLLOQUE SUR "PARTICLE SYSTEMS IN DYNAMICS, OPTIMIZATION, AND LEARNING"

du 6 au 7 Mars 2024, au Centre Lagrange, Paris

<https://sites.google.com/view/ot-lagrange/Particles2024>

► FRENCH JAPANESE CONFERENCE ON PROBABILITY & INTERACTIONS

du 6 au 8 Mars 2024, à l'IHEAS, Bures-sur-Yvette

<https://indico.math.cnrs.fr/event/10598/>

► CONFERENCE ANALYSIS ON FRACTALS AND NETWORKS, AND APPLICATIONS

du 18 au 22 Mars 2024, au CIRM (Marseille)

<https://conferences.cirm-math.fr/2950.html>

1. thomas.haberkorn@univ-orleans.fr

► CONFÉRENCE SUR LES MATHÉMATIQUES DE L'OPTIMISATION ET DE LA DÉCISION
(JOURNÉES MODE)

du 27 au 29 Mars 2024, à Lyon

<http://smai.emath.fr/spip.php?article330>

MAI 2024

► INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELLIPTIC AND PARABOLIC PROBLEMS

du 20 au 24 Mai 2024, à Gaeta (Italie)

<http://www.ljll.math.upmc.fr/gaeta2024/>

► SUMMER SCHOOL : MACHINE LEARNING AND OPTIMAL CONTROL

du 27 au 31 Mai 2024, à Gaeta (Italie)

<https://sites.google.com/view/mloc2024/home>

JUIN 2024

► INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICAL MODELING WITH MODERN APPLICATIONS

du 4 au 6 Juin 2024, à Istanbul (Turquie)

<https://www.m3a24conference.org/>

► SUMMER SCHOOL : "NONLINEAR QUANTUM GRAPHS"

du 17 au 21 Juin 2024, à Valenciennes

<https://nqg.sciencesconf.org>

► WORKSHOP "MATHEMATICAL MODELLING OF EPIDEMIOLOGICAL DYNAMICS"

du 17 au 21 Juin 2024, au Havre

https://www.quentin.griette.fr/2024/Workshop_MMED

► FRENCH GERMAN SPANISH CONFERENCE ON OPTIMIZATION (FGS 2024)

du 18 au 21 Juin 2024, à Gijon (Espagne)

<https://www.unioviedo.es/fgs2024>

JUILLET 2024

- ▶ CONFÉRENCE SUR LES MÉTHODES NUMÉRIQUES EN ELECTROMAGNÉTISME (NUME-LEC 2024)

du 8 au 10 Juillet 2024, à Toulouse

<https://numelec2024.sciencesconf.org/>

SEPTEMBRE 2024

- ▶ INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SADI CARNOT'S RÉFLEXIONS SUR LA PUISSANCE MOTRICE DU FEU

du 11 au 13 Septembre 2024, à Lille

<https://carnotlille2024.sciencesconf.org/>

OCTOBRE 2024

- ▶ ADVANCED COURSE ON "DOMAIN DECOMPOSITION AND MULTIGRID METHODS FOR COMPUTATIONAL STRUCTURE MECHANICS"

du 21 au 25 Octobre 2024, à Udine (Italie)

<https://www.cism.it/en/activities/courses/C2421/>

Correspondantes et correspondants locaux

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

Angers *Frédéric Proia*
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 *Céline Lacaux*
Dépt de Mathématiques
Univ. d'Avignon
33 rue Louis Pasteur
84000 Avignon

celine.lacaux@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 Bre-
tagne 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 *Antoine Benoit*
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*Antoine Zurek*

Laboratoire de Mathématiques
Appliquées de Compiègne
Univ. de Technologie, BP 20529
60205 Compiègne CEDEX
antoine.zurek@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@cmla.ens-cachan.fr

ENS Paris*Bertrand Maury*

DMA, Ecole Normale Supérieure
45 rue d'Ulm,
75230 Paris CEDEX
☎ 01 44 32 20 80
bertrand.maury@ens.fr

EHESS*Amadine Aftalion*

CAMS, EHESS
54, bd. Raspail,
75270 Paris CEDEX 06
☎ 01 49 54 20 84
amadine.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 Gépole*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

Rouen *Ioana Ciotir*

Laboratoire de Mathématiques / LMI
INSA Rouen Normandie
Avenue de l'Université
76801 Saint-Étienne-du-Rouvray
Ioana.Ciotir@insa-rouen.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 Mathématiques Appliquées
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 *Benoit Fabrèges*

Institut Camille Jordan,
Univ. Claude Bernard Lyon 1
43 b^d du 11 novembre 1918
69622 Villeurbanne CEDEX
fabreges@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 *Vanessa Lleras*

I3M, Dép. de Mathématiques,
Univ. Montpellier II, CC51
Pl. Eugène Bataillon
34095 Montpellier CEDEX 5
☎ 04 67 14 32 58 – 📠 04 67 14 35 58
vanessa.lleras@umontpellier.fr

Nantes *Anais 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'Économie de la Sorbonne UMR
8174
Univ. Paris 1 Pantheon-Sorbonne
Maison des Sciences Économiques
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
PI 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 *Matthieu Brachet*
 LMA
 Univ. de Poitiers
 B^d Marie et Pierre Curie
 BP 30179
 86962 Futuroscope Chasseneuil CEDEX
 ☎ 05 49 49 68 78
 matthieu.brachet@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 Rennes 1,
 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

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 Aguilon*
 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 *Emmanuel Franck*
 IRMA
 Univ. de Strasbourg
 7 rue René Descartes
 67084 Strasbourg CEDEX
 emmanuel.franck@inria.fr

Toulouse *Laurent Risser*
 IMT, Univ. Toulouse 3
 118 route de Narbonne
 31077 Toulouse CEDEX 4
 Laurent.Risser@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

Troyes

Florian Blachère

Institut Charles Delaunay
Université de Technologie de Troyes
12, rue Marie Curie
CS 42060 - 10004 TROYES CEDEX
florian.blachere@utt.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

46ème Congrès National
d'Analyse Numérique

CANUM ²⁰₂₄

27 au 31 mai 2024 - Ile de Ré

Conférences plénières

Rémi Abgrall
Didier Bresch
Julie Digne
Laura Grigori

Karine Beauchard
Juliette Chabassier
Céline Grandmont
Étienne Mémin
Ayman Moussa


SMAI
société de mathématiques
appliquées et industrielles



SCANNEZ MOI



au sein de
Nouvelle-Aquitaine



MARGAU
Fédération Mathématique
de Recherche
en Région Nouvelle-Aquitaine

