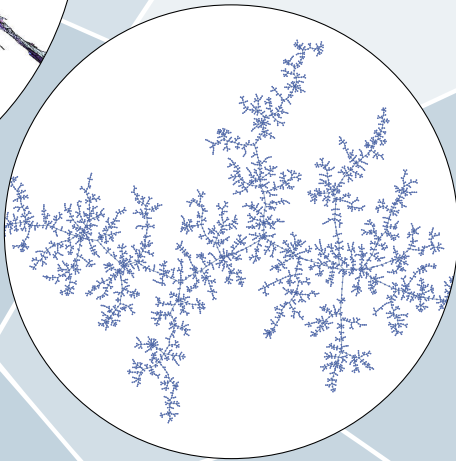
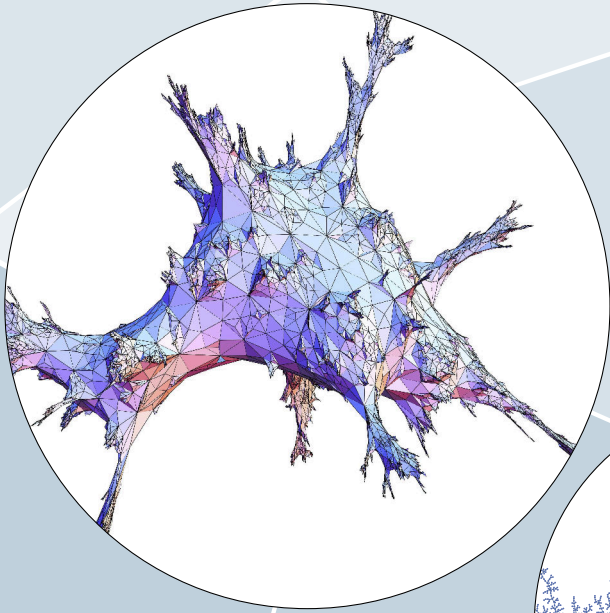


# MATAPLI



## 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° 130 — Avril 2023.**

Édité par la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles

**Directeur de la publication**

Olivier GOUBET, Président de la SMAI

**Composition, mise en page**

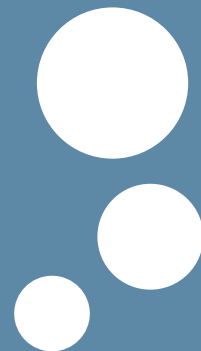
Julien SALOMON et Maxime CHUPIN

**Impression**

Présence Graphique,

2 rue de la Pinsonnière, 37260 Monts

# Sommaire



ÉDITO — 3
COMPTES RENDUS DU CA DE LA SMAI — 5
PROJET BOUM : RENCONTRE JCJC ONDES 2022 — 21
LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS À COMPOSANTE MATHÉMATIQUES IMPORTANTE (6) — 25
COMPTES RENDUS DES JOURNÉES MAS — 29
PRIX NEVEU : SURFACES BROWNIENNES — 35
RÉSUMÉS DE THÈSES ET HDR — 53
ANNONCES DE COLLOQUES — 97
CORRESPONDANTES ET CORRESPONDANTS LOCAUX — 103

*Date limite de soumission des textes pour le Matapli 131 :*  
**15 mai 2023**

*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](mailto:smai@emath.fr) – <http://smai.emath.fr>*

## PRIX DES PUBLICITÉS ET ENCARTS DANS MATAPLI POUR 2022

- 150 € pour une demi-page intérieure
- 250 € pour une page intérieure
- 400 € pour la 3<sup>e</sup> de couverture
- 450 € pour la 2<sup>e</sup> de couverture
- 500 € pour la 4<sup>e</sup> de couverture
- 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*

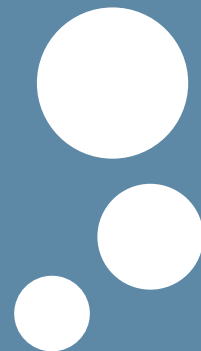
*SMAI – Institut Henri Poincaré – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris  
Cedex 05*

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

*[smai@math.fr](mailto:smai@math.fr)*

Site internet de la SMAI :

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



*par :* \_\_\_\_\_

*Olivier GOUBET<sup>1</sup> — Président de la SMAI*

Bonjour à tous et à toutes.

La SMAI a quarante ans cette année. Fondée en 1983, la SMAI oeuvre au développement des mathématiques appliquées et industrielles. Les pères fondateurs réunis autour du premier président Roger Temam ont eu là une sacrée bonne idée.

La SMAI est un bel outil au service de la communauté qui ne fonctionne aujourd'hui comme hier que grâce à l'investissement de ses bénévoles. Cet édito est pour moi l'occasion de remercier tous ceux et toutes celles qui se sont investis dans l'association.

Bon anniversaire et longue vie à la SMAI dans toutes ses actions.  
Bien cordialement

## Olivier GOUBET



Professeur en mathématiques appliquées à l'Université de Lille, Olivier Goubet est l'actuel président de la SMAI. Ses thématiques de recherche concernent l'analyse des équations aux dérivées partielles et la modélisation mathématique, notamment pour l'écologie.

**Email :** [olivier.goubet@univ-lille.fr](mailto:olivier.goubet@univ-lille.fr)

**Site web :**

<https://pro.univ-lille.fr/olivier-goubet>

---

1. [olivier.goubet@univ-lille.fr](mailto:olivier.goubet@univ-lille.fr)



# Comptes rendus du conseil d'administration de la SMAI

par :

*Anne-Laure DALIBARD – Secrétaire générale de la  
SMAI*

## COMPTE RENDU DU CA DE LA SMAI DU 14 OCTOBRE 2022

**Présents** : T. Bayen, C. Cancès, F. Charles, A.-L. Dalibard, Y. Demichel, N. Forcadel, O. Goubet, L. Goudenège, J. Lacaille, R. Lewandowski, M. Mehrenberger (invité), C. Pellegrini, M. Ribot, C. Rosier, A. Véber.

**Excusés** : S. Adly (pouvoir O. Goubet), F. Barbaresco, P. Calka (pouvoir Y. Demichel), G. Chapuisat (pouvoir A.-L. Dalibard), C. Choquet, J. Delon, V. Desveaux, A. Ern, O. Lafitte, B. Liquet (pouvoir O. Goubet), P.-Y. Louis, A. Nouy (pouvoir A.-L. Dalibard), L. Weynans, M. Zani.

### 1 Principaux points à l'ordre du jour

#### Bilan du CEMRACS 2022

Michel Mehrenberger est invité à présenter un bilan du CEMRACS 2022 en ouverture du CA. Cette session était un report de l'édition 2020 annulée à cause de la pandémie de Covid19, et portait sur les modèles et méthodes numériques reliés au transport. Environ 75 personnes ont participé à l'école d'été. La suite du CEMRACS a compté 11 projets, en majorité académiques, avec 3 étudiantes ou étudiants par projet (dont deux étudiants financés dans le cadre du CIMPA). Un séminaire avait lieu chaque matin, avec de gros efforts de pédagogie, et les participants ont également bénéficié d'un cours d'introduction à git/julia. Michel

Mehrenberger salue le format du CEMRACS, qui constitue un moment unique pour rassembler les jeunes dans un très bon cadre de travail.

Côté organisation, la gestion du site web par le CIRM a simplifié le processus d'inscription. Le budget est à l'équilibre. Environ 70k€ de factures ont été réglées directement par le CIRM, et 90 k€ par la SMAI. L'équipe d'organisation a écrit un script qui automatise l'édition des factures, et celui-ci pourra être réutilisé par les organisateurs des prochains CEMRACS. Par ailleurs, ce nouveau mode de fonctionnement est l'un des points de la convention CIRM/SMAI qui a été adoptée lors du dernier CA de la SMAI et sera mise au vote prochainement au CA du CIRM.

La SMAI remercie chaleureusement l'équipe d'organisation du CEMRACS 2022 pour cet événement.

### Point sur le secrétariat

---

De nouveaux ordinateurs ont été reçus par les secrétaires et seront mis en service prochainement.

### Point sur les publications

---

Amandine Véber fait un point sur les publications.

- SMAI-JCM : le changement d'éditeurs en chef est effectif. La SMAI remercie chaleureusement Doug Arnold pour tout le travail accompli en tant qu'éditeur en chef. Un changement de licence a eu lieu, et les prochains articles seront publiés sous licence CC-BY 4.0. Par ailleurs, Doug Arnold a été contacté l'été dernier par l'initiative **KOALA**, qui propose à des établissements universitaires de différents pays de prendre en charge tout ou partie du financement de journaux publiés en accès ouvert sans frais pour les auteurs. SMAI-JCM serait éligible pour être inclus dans l'un des bouquets proposés par KOALA. Actuellement, le coût de la publication en accès ouvert de SMAI-JCM est assuré par l'INSMI par l'intermédiaire du centre Mersenne. Évelyne Miot, qui est responsable du Centre Mersenne, est favorable à ce que SMAI-JCM participe à KOALA. Le bouquet de revues EDP Sciences & SMAI va aussi participer à l'initiative afin d'assurer un financement de "secours" en cas de fluctuations à la baisse du nombre d'abonnés aux revues.
- Maths et Applications : le changement d'éditeurs en chef est effectif. La SMAI remercie chaleureusement Valérie Perrier et Marc Hoffmann pour tout le travail accompli pour cette collection.



- Un projet de nouvelle collection de livres en accès ouvert, en commun avec la SFdS et publiés chez EDP Sciences, est en cours. Actuellement, le coût de production d'un livre électronique est de 5k€. L'idée du modèle économique serait de démarcher une dizaine d'établissements pour qu'ils financent cette collection à hauteur de 1000 ou 2000 € par an. Plusieurs institutions ont été contactées. Un financement pourrait également être demandé au Fonds national pour la science ouverte pour lancer la collection.
- La collection de livres de niveau M<sub>1</sub> publiée par Dunod est à l'arrêt depuis 2016. Les ouvrages se vendent bien la première année, puis passent en production à la demande en raison d'une baisse des ventes à partir de la deuxième année. Cependant, la responsable de la collection chez Dunod, contactée par Amandine Véber, a manifesté l'intérêt de la maison d'édition pour cette collection. La question est donc de savoir s'il est pertinent pour la SMAI de maintenir une collection de livres de niveau M<sub>1</sub>. Olivier Goubet rappelle qu'une des spécificités de la SMAI est la publication d'ouvrages adaptés pour les écoles d'ingénieur. Ludovic Goudenège et Clément Cancès estiment qu'il n'est pas clair que l'effort vaille le coup : les étudiants et étudiantes attendent plutôt un polycopié adapté au cours. Roger Lewandowski rappelle que ces polycopiés doivent être refaits régulièrement pour s'adapter au niveau des élèves, mais pense que l'énergie déployée pour rédiger un polycopié pourrait être valorisée dans la publication d'un livre. Après quelques discussions, le consensus au sein du CA est qu'il n'y a pas d'urgence à réactiver la collection.

### Point sur l'enseignement

---

Yann Demichel fait le point sur les questions liées à l'enseignement.

- La rencontre avec le jury de l'agrégation de mathématiques a eu lieu début octobre, en hybride. Ce rendez-vous important s'est bien passé.
- Les journées de l'APMEP auront lieu du 22 au 25 octobre à Jonzac. La SMAI y sera représentée par Laurent Boudin.
- Le dossier concernant la réforme du lycée est toujours en cours (voir la [page dédiée sur le site de la SMAI](#)). Le collectif Maths&Sciences a relancé des lettres ouvertes et a essayé de prendre contact avec les ministères pour discuter de cette réforme, sans succès. Des rendez-vous ont été pris avec des députés ; la commission éducation de l'Assemblée nationale serait peut-être une bonne porte d'entrée, en insistant sur les effets délétères de la réforme sur les jeunes filles, ou sur le manque de formation mathématique des futurs ingénieurs. La réforme prévoit actuellement 1h30 (peut-être

2h) de mathématiques obligatoires dans le tronc commun, y compris pour les élèves qui suivent la spécialité mathématiques. Une réflexion sur les programmes est en cours. Par ailleurs, la réforme du primaire et du collège est lancée.

### Point sur les actions grand public

Olivier Goubet transmet un message de Guillemette Chapuisat concernant l'école d'initiation à la recherche pour des étudiantes de licence, au CIRM. Le CIRM a validé le projet et la recherche de financements est lancée. La date retenue est la semaine du 20 au 24 février. Cependant il semblerait que l'information n'ait pas encore été reçue par la communauté. Il est donc décidé d'envoyer un message aux correspondants locaux en leur demandant de le relayer dans leur département, et parallèlement de diffuser ce message dans la lettre d'information relative à l'enseignement.

### Nouvelles des groupes thématiques

- Clément Pellegrini est le nouveau responsable du groupe **MAS** depuis début octobre. La journée aléatoire début octobre s'est très bien passée. Les prochaines journées MAS auront lieu à Poitiers. Une liste de diffusion élargie va bientôt être mise en place.
- Magali Ribot fait le point sur les activités du groupe **MABIOME**. Le groupe thématique travaille main dans la main avec le GDR MathSAV, et la première édition des Journées Math Bio Santé, organisées conjointement par MABIOME et MathSAV, a eu lieu début octobre à Besançon. Le but serait d'organiser un tel événement tous les ans. Par ailleurs, Gaël Raoul a souhaité passer la main. Milica Tomasevic, qui est probabiliste, a donc rejoint le trio à la tête du groupe MABIOME.
- TERENCE Bayen est le responsable du groupe **MODE** depuis le mois de juin. Les journées du groupe ont eu lieu en juin à Limoges, et les prochaines auront lieu à Lyon en 2024. La prochaine conférence FGX se tiendra en Espagne en juin 2024. Son comité scientifique sera désigné au sein du groupe MODE.
- Anne-Laure Dalibard transmet un message d'Anthony Nouy concernant le groupe **SIGMA**. La journée de rencontre annuelle aura lieu au LJLL, à Jussieu, le 13 décembre. Il y aura 7 exposés entre le matin et l'après-midi, et l'AG du groupe se tiendra de 13h à 14h.

### **Bilan du CANUM 2022**

---

Nicolas Forcadel présente un bilan du CANUM 2022. Le congrès a accueilli un peu plus de 300 participants et participantes, et une trentaine de mini-symposia. Le bilan financier n'est pas encore complètement stabilisé, mais le bénéfice attendu se situe autour de 35k€. Certains frais ont été évités par rapport aux autres CANUM (pas de "goodies", actes en ligne uniquement).

La SMAI remercie chaleureusement l'équipe d'organisation du CANUM 2022 pour cet événement.

Le CANUM 2024 aura lieu à La Rochelle.

### **Bilan du CJC 2022**

---

Carole Rosier présente un bilan du CJC 2022, qui s'est tenu du 21 au 23 septembre à Calais. Le congrès s'est très bien passé et a accueilli une soixantaine de participants et participantes, dont 40 participations orales. L'organisation incluait une petite session de théorie des nombres, avec un exposé sur les problématiques aléatoires dans ce domaine. Le budget total s'élevait à environ 5 500 €. Carole Rosier attire l'attention des futures équipes d'organisation sur le choix des dates et sur les collusions possibles avec d'autres événements. Le mois de septembre n'est pas idéal en raison de la rentrée.

La SMAI remercie chaleureusement l'équipe d'organisation du CJC 2022 pour cet événement.

### **Projets BOUM**

---

Anne-Laure Dalibard présente les 7 projets reçus lors de l'appel à projets d'octobre 2022. Le conseil d'administration décide d'en financer cinq d'entre eux à hauteur de 1000€. Une discussion s'engage concernant un sixième projet, qui concerne le financement d'un séminaire récurrent. D'ordinaire la SMAI ne finance pas des projets BOUM de cette nature, estimant qu'ils font partie des missions traditionnelles des laboratoires. Cependant dans le cas présent, le séminaire se situe à l'interface mathématiques-biologie, et pour cette raison le CA décide de soutenir cette initiative à hauteur de 500 €.

### **Prix Marc Yor**

---

Olivier Goubet propose trois noms pour le jury du prix Marc Yor. Le CA donne son accord à l'unanimité.

### Bilan du FEM 2022

---

Pour la première fois en 3 ans, le Forum de l'Emploi Mathématique a eu lieu en présentiel à la Villette. La participation était bien moindre que lors des éditions précédant la pandémie (environ 3 fois moins d'étudiants, moins de stands d'universités, et moins de stands d'entreprises, ce dernier aspect restant cependant gérable). Face à ce constat, l'équipe d'organisation s'interroge sur la pertinence du financement et de l'organisation d'un événement de cette taille par la SMAI, la SFdS et AMIES. Frédérique Charles estime qu'il est important que les étudiants et étudiantes puissent rencontrer des acteurs des débouchés des études de mathématiques, et ainsi constater la variété des métiers qui utilisent des maths. Roger Lewandowski rappelle que l'accès à l'emploi des diplômés en mathématiques fait partie des missions de la SMAI. Clément Cancès demande s'il est possible que la baisse de fréquentation ne soit qu'un accident isolé. Il est difficile de répondre à cette question avec un unique point de mesure. Cependant Jérôme Lacaille soulève deux difficultés structurelles du côté des entreprises. D'une part les dates ne sont pas optimales car les offres de stage ne sont pas prêtes. Un forum plus tardif serait préférable. D'autre part la présence du mot "emploi" dans l'intitulé du Forum entraîne automatiquement une gestion par les RH de la participation à ce forum, ce qui peut être une source de blocage. Néanmoins Jérôme Lacaille estime qu'il s'agit d'un événement intéressant, qui mérite d'être maintenu.

Il s'agirait donc de faire évoluer le FEM, éventuellement en changeant de lieu, de date ou de nom. Par ailleurs, Jérôme Lelong et Gwladys Toulemonde souhaitent passer la main. La SMAI les remercie chaleureusement pour leur travail et leur implication, et lance un appel aux bonnes volontés pour les remplacer.

### Salon ONISEP

---

Le salon de l'ONISEP se tiendra le dernier week-end de novembre à Paris. Les sociétés savantes y ont un stand commun, qui est malheureusement souvent plutôt désert. La question est de savoir si la SMAI souhaite maintenir sa présence sur le stand. L'avis du CA sur ce point est plutôt réservé, compte tenu du manque de bras.

### Congrès SMAI 2023

---

L'organisation du congrès suit son cours, malgré le passage de la tempête Fiona qui a occasionné quelques retards. Un responsable hybridation a été nommé au sein du comité d'organisation. La convention entre SMAI et organisateurs

sera signée prochainement. Le comité scientifique a fait des propositions pour les conférences plénières et les invitations commencent à partir. Le dernier créneau de la biennale sera réservé à une conférence grand public à destination des lycéens et lycéennes de Guadeloupe. La biennale sera suivie d'une SEME qui comptera trois projets industriels. Olivier Goubet discutera prochainement avec des doctorants et doctorantes du LJLL qui s'inquiètent de l'impact climatique du congrès.

Térence Bayen relate des débats relatifs à la localisation du congrès SMAI 2023 au sein du groupe MODE. Il en ressort que le groupe MODE ne souhaite pas financer de mini-symposium lors de ce congrès, contrairement aux habitudes lors des précédentes biennales. Plusieurs membres du bureau expriment leur mécontentement face à cette décision tardive, qui intervient plus d'un an après l'examen de la candidature de l'université des Antilles comme entité organisatrice.

### Adhésion à l'association GUTenberg

Maxime Chupin propose à la SMAI d'adhérer à l'association GUTenberg (Groupe des utilisateurs francophones de T<sub>E</sub>X). Le CA donne son accord.

### Questions diverses

- La SMAI fêtera ses 40 ans en 2023. Le CA lance un appel aux bonnes idées pour célébrer cet évènement.
- Olivier Goubet lance un appel à candidatures pour l'organisation du CEM-RACS 2024.

## 2 Points d'information

Les prochaines réunions du bureau de la SMAI auront lieu le 25 novembre et le 16 décembre. Le prochain conseil d'administration aura lieu le 13 janvier à 14h. Il sera précédé d'un bureau à 10h.

# COMPTE RENDU DU CA DE LA SMAI DU 13 JANVIER 2023

**Présents** : S. Adly, F. Barbaresco, T. Bayen, C. Cancès, G. Chapuisat, C. Choquet, A.-L. Dalibard, J. Delon, Y. Demichel, V. Desveaux, A. Ern, N. Forcadel, O. Goubet, L. Goudenège, F. Hubert, R. Lewandowski, P.-Y. Louis, A. Nouy, C. Rosier, A. Véber, L. Weynans

**Excusés** : P. Calka (pouvoir Y. Demichel), F. Charles, J. Lacaille (pouvoir A.-L. Dalibard), B. Liquet, M. Zani.

## 1 Principaux points à l'ordre du jour

### Point sur le secrétariat

Olivier Goubet propose de revaloriser les salaires des secrétaires en les passant à l'échelon supérieur, ce qui correspond à une augmentation mensuelle légèrement inférieure à une centaine d'euros. Il propose également de leur verser au titre de l'année 2022 une prime de 750€. Ces propositions sont approuvées par le conseil d'administration à l'unanimité.

Ludovic Goudenège demande pourquoi les primes annuelles ne sont pas versées en fin d'année. Celles-ci doivent préalablement être votées en CA, et le calendrier des CA de la SMAI conduit donc à un versement en janvier.

### Point sur les actions grand public

Samir Adly fait le point sur les actions grand public.

- L'organisation du **Salon Culture et Jeux Mathématiques** suit son cours. L'édition 2023 aura malheureusement lieu en même temps que la biennale de la SMAI. Comme chaque année, les sociétés savantes de mathématiques (SMF, SFdS, SMAI, Femmes& Maths) partageront un stand, sur lequel des bénévoles se relayeront. Samir Adly lance donc un appel aux bonnes volontés auprès des membres du CA, en leur demandant de relayer cet appel au sein de leurs institutions. Les volontaires sont invités à lui écrire directement pour se faire connaître (samir.adly AT unilim.fr).
- La SMAI lance la première édition du **Mois des mathématiques appliquées et industrielles**. Il s'agit d'un cycle de quatre conférences de

vulgarisation scientifique autour des mathématiques appliquées et industrielles, afin de promouvoir ces thématiques auprès du grand public. Cet événement sera organisé chaque année par la SMAI avec un laboratoire français, qui sera différent d'une année sur l'autre.

Le laboratoire organisateur pour l'année 2023 sera le laboratoire Jacques-Louis Lions (Sorbonne université, Paris). Les dates restent encore à préciser. Les conférences seront diffusées en direct et enregistrées, puis mises à disposition. Les orateurs ou oratrices seront libres de choisir leur public (collège, lycée, supérieur, grand public, etc.)

- Amandine Aftalion est à la recherche d'un intervenant ou d'une intervenante pour un exposé niveau collège à l'occasion de la remise du prix **Videodimaths**.

### Point sur les publications

---

Amandine Véber fait un point sur les publications.

- Cédric Boulbe, qui a assuré le rôle de Managing Editor pour SMAI-JCM depuis la création de la revue en 2014, quitte ses fonctions et est remplacé par Martin Parisot. La SMAI le remercie chaleureusement pour son travail au service de la communauté.
- La SMAI participera à l'initiative **KOALA**, avec la revue SMAI-JCM afin de soutenir une tentative intéressante de développer un nouveau modèle de financement pour les revues en accès ouvert sans frais pour les auteurs.
- Vitaly Volpert souhaite quitter la direction éditoriale de *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, journal qu'il a fondé. Le conseil d'administration de la SMAI travaille à trouver un ou une remplaçante.
- Le numéro spécial « High Performance Computing and Mathematics with Industrial Applications » de *MathS In Action*, coordonné par Clémence Allasseur, Stéphane Labbé et Xavier Warin, est paru fin 2022. La SMAI remercie les éditeurs invités pour tout leur travail. Le numéro spécial sur l'interface entre mathématiques et biologie devrait paraître bientôt.
- La création de la collection de livres de niveau M2 recherche en accès ouvert, publiée par EDP Sciences et sous la direction scientifique de la SFdS et de la SMAI, a été actée et les 3 partenaires travaillent à sa mise en place. Le but serait de financer deux livres par an, chacun coûtant 5k€. Le soutien financier demandé aux institutions est donc de l'ordre de 1-2k€ par an. Le premier livre devrait paraître en 2023.

## Point sur l'enseignement

Yann Demichel fait le point sur les questions liées à l'enseignement. Le suivi de l'important dossier sur la demande de modification de la réforme du lycée reprend, en lien avec le collectif Maths & Sciences, après que l'ajout dans le tronc commun d'une heure et demie de mathématiques en première générale pour l'ensemble des élèves n'ayant pas choisi la spécialité mathématiques a été mis en place à la rentrée 2022. Cet enseignement, intégré à l'enseignement scientifique, est proposé cette année à titre facultatif à tous les élèves volontaires et sera rendu obligatoire à partir de la rentrée 2023 pour l'ensemble des élèves n'ayant pas choisi la spécialité mathématiques. La réforme du collège vient d'être engagée avec l'annonce d'une modification des enseignements en sixième. Il est envisagé l'arrêt des enseignements de technologie qui seraient remplacés par une heure de mathématiques ou de français obligatoire en demi-groupes de niveau (soutien ou approfondissement). Ces heures seraient assurées par des professeurs des écoles. La question plus large de l'articulation des quatre années du collège et de l'évolution du diplôme national du brevet semble également posée. En parallèle, une réflexion sur l'enseignement à l'école primaire est amorcée. Enfin, concernant l'enseignement supérieur, la sélection en master pour l'entrée en M1 s'effectuera dès cette année au niveau national, via une plateforme unique de candidature en ligne.

## Point sur les relations avec l'industrie

Alexandre Ern fait le point sur les relations avec l'industrie.

- Jérôme Lelong a pris la direction d'AMIES.
- Plusieurs échanges avec des entreprises suite au FEM d'octobre 2022 ont indiqué que le nom du forum gagnerait à évoluer. Un changement de nom sans modification d'acronyme a donc été décidé, et le forum s'appellera désormais « Forum Entreprises et Mathématiques ». Le nouveau comité d'organisation sera piloté par Aurélie Fischer et Nicolas Wicker, en partenariat avec AMIES, la SFdS et la SMAI. La prochaine édition aura lieu le 10 octobre 2023 au CNAM.
- Une SEME sera adossée à la prochaine biennale aux Antilles.
- La SMAI va donner son parrainage au site [Docteurs en entreprise](#). Amandine Véber, très enthousiaste, suggère de diffuser le site assez largement. Yann Demichel s'interroge sur les sources des données. Alexandre Ern répond qu'AMIES récupère la partie concernant les mathématiques à partir de theses.fr, LinkedIn, etc.



## Nouvelles des groupes thématiques

- Anthony Nouy fait le point sur les activités du groupe **SIGMA**. Le congrès Curves and Surfaces a eu un bon succès (280 inscrits, venant d'une trentaine de pays). Le budget total était de 108k€ et les dépenses se sont élevées à 113k€, le déficit étant absorbé par la trésorerie du groupe SIGMA. Les journées du groupe ont eu lieu en décembre au LJLL et ont compté une trentaine de participants et participantes. Le comité de liaison avait été renouvelé fin 2020, et un renouvellement substantiel est à venir fin 2023 lors de l'AG du groupe. Le prochain comité de liaison devra organiser l'édition 2026 du congrès Curves and Surfaces (en cherchant un autre lieu). Le prochain workshop SIGMA aura lieu au CIRM en 2024.
- Florence Hubert fait le point sur les activités du groupe **MABIOME**. La première édition des Journées Math Bio Santé, organisées conjointement par MABIOME et MathSAV, a eu lieu début octobre. Les prochaines journées se tiendront en 2023 à Marne la Vallée, mais les dates ne sont pas encore fixées. Le groupe est associé à un projet d'école au CIRM, lancé par Vincent Calvez.

## Congrès SMAI 2023 et 2025

Environ 70 personnes ont rempli le formulaire de pré-inscription mis en place par le comité d'organisation de SMAI 2023, ce qui permet de tableur sur une centaine de participants et participantes en présentiel au total. Des discussions sont en cours avec les compagnies aériennes pour négocier des tarifs.

Le conseil d'administration de la SMAI examine la proposition de frais d'inscription envoyée par le comité d'organisation de la biennale. Les frais d'inscription sont un peu supérieurs à ceux qui étaient proposés lors des éditions précédentes. Olivier Goubet propose de diminuer les frais d'inscription en augmentant les frais d'hébergement. Clément Cancès estime préférable de conserver les tarifs proposés par l'équipe d'organisation, pour ne pas déséquilibrer leur budget global. Les frais pour participants et participantes à distance sont jugés trop chers. Après une longue discussion, Catherine Choquet propose de rendre l'inscription gratuite pour suivre le congrès à distance. Le conseil d'administration adhère avec enthousiasme à cette suggestion. Anne-Laure Dalibard rappelle cependant qu'il faudra veiller à ce que cette proposition ne mette pas en difficulté le budget du LAMIA.

Par ailleurs, le conseil d'administration rappelle que le CANUM 2024 aura lieu à La Rochelle, et lance un appel à candidatures pour l'organisation du congrès SMAI 2025.

### **CEMRACS 2024**

Aucune candidature n'ayant été reçue à ce jour, le conseil d'administration lance un appel aux bonnes volontés pour l'organisation du CEMRACS 2024.

### **Commission électorale**

Catherine Choquet, Julie Delon, Anthony Nouy et Amandine Véber se portent volontaires pour faire partie de la commission électorale.

### **Ecole franco-espagnole Jacques-Louis Lions**

L'École franco-espagnole Jacques-Louis Lions est organisée tous les deux ans avec l'homologue espagnol de la SMAI (SEMA). Elle aura lieu cette année à Barcelone. Le conseil d'administration accorde une subvention à hauteur de 2000€.

Par ailleurs, cette école n'a jamais eu lieu en France. Si une équipe française est volontaire pour organiser cette école, elle peut contacter Olivier Goubet directement.

### **Représentants et représentantes de la SMAI**

La SMAI remercie chaleureusement ses représentants et représentantes pour l'ensemble du travail accompli pour la SMAI.

- Julie Delon représentait la SMAI au sein du comité d'organisation de la journée Sciences et médias, et souhaite passer la main. Cette journée à destination du grand public a lieu tous les ans ou tous les deux ans à la BNF. Le comité d'organisation rassemble des journalistes scientifiques et des représentants ou représentantes de sociétés savantes et de la BNF. Julie Delon souligne l'intérêt des discussions, ainsi que la grande affluence lors des journées. Les personnes intéressées pour reprendre la main peuvent écrire directement à Julie Delon ([julie.delon@u-paris.fr](mailto:julie.delon@u-paris.fr)).

- Violaine Roussier-Michon, chargée de mission « droits humains » pour la SMAI, souhaite également passer la main. Une description de cette activité avait été transmise aux membres du CA avant la réunion. Les volontaires peuvent écrire directement à Olivier Goubet.
- La SMAI remercie Thierry Goudon (arrivé au terme de son mandat) pour son travail au conseil scientifique du CIRM. Après consultation du conseil scientifique de la SMAI, Olivier Goubet propose la candidature de Franck Boyer comme représentant de la SMAI au sein du conseil scientifique du CIRM. Le conseil d'administration donne son accord.

### Math C pour L

---

Guillemette Chapuisat fait le point sur l'initiative Math C pour L (école d'initiation à la recherche pour des étudiantes de licence, au CIRM). Le comité d'organisation a reçu énormément de demandes (108 candidatures pour 25 places initialement prévues, augmentées à 28). La sélection a été faite en fonction du milieu socio-professionnel des parents et de la proximité au monde de la recherche. Le programme est actuellement en cours de finalisation.

La SMAI remercie chaleureusement l'ensemble des organisatrices et l'organisateur pour cette première édition. Fabien Durand propose d'organiser une seconde école à Amiens, avec Olivier Goubet.

Par ailleurs, Clémentine Courtès souhaiterait dupliquer l'initiative des Cigales à Strasbourg. Olivier Goubet lui a conseillé de se tourner vers MathC2+ (bien que l'initiative des Cigales soit en dehors du périmètre de MathC2+). Le conseil d'administration est d'accord pour accorder le parrainage de la SMAI à cette initiative strasbourgeoise.

### Questions diverses

---

- Une journée en l'honneur des 40 ans de la SMAI se tiendra le vendredi 9 juin 2023. Le programme sera constitué d'exposés scientifiques le matin, et de l'assemblée générale annuelle l'après-midi. Olivier Goubet lance un appel aux bonnes volontés pour constituer le comité scientifique de cet événement.
- Olivier Goubet consulte le conseil d'administration sur l'affichage des postes de repyramidage. Est-il souhaitable de faire apparaître ceux-ci sur Opération Postes? Roger Lewandowski fait part de son expérience dans une commission de repyramidage, et serait d'avis d'afficher les postes.

Yann Demichel rappelle les grandes lignes de la procédure de repyramidage. Un arrêté paru au **JO du 8 novembre 2022** fixe pour l'année 2023 et l'année 2024 la répartition des repyramidages par établissement. Le Ministère transmet ensuite à chaque établissement une liste de sections prioritaires et conseillées pour le repyramidage. Cette liste peut cependant être amendée (avec des arguments et en accord avec le MESR), de sorte qu'*in fine*, la décision de repyramider un poste dans une section donnée revient à l'établissement. Par ailleurs, l'avis du comité pour un poste de repyramidage est consultatif, et peut ne pas être suivi par le président de l'établissement à qui la décision finale revient. Pour toutes ces raisons, Yann Demichel suggère de ne publier qu'un bilan annuel, soit le nombre total de repyramidages, dans les sections concernées par Opération Postes. Olivier Goubet va échanger de nouveau sur ce sujet avec les collègues en charge d'Opération Postes.

## 2 Points d'information

---

### Projets BOUM : mise à plat des critères

---

Suite à la convention entre le CIRM et la SMAI, les projets BOUM pourront prendre la forme d'un séjour de recherche en binôme ou en trinôme au CIRM. La SMAI finance alors le voyage des participants ou participantes, dans la limite de 1000€ au total, et le CIRM les frais de séjour sur place.

Cette nouvelle possibilité va être mentionnée sur la page des projets BOUM. Les critères vont également être remis à plat, afin de clarifier les activités pouvant être soutenues dans le cadre des projets BOUM.

### Fusion des rubriques MSO et Entreprises au sein de MATAPLI

---

Les rubriques « Modélisation, Simulation, Optimisation » et « Entreprises » vont fusionner au sein de MATAPLI. Leur rédacteur commun sera Christian Gout.

### Renouvellement du bureau

---

Plusieurs membres du bureau arrivent à la fin de leur mandat l'été prochain. Un appel aux bonnes volontés est donc lancé pour les remplacer.

## Prochains CA

---

Les prochaines réunions du conseil d'administration auront lieu le 7 avril et le 7 juillet 2023.

Les prochaines réunions du bureau auront lieu le 17 février, le 10 mars et le 7 avril.



# Projet BOUM : rencontre JCJC

## Ondes 2022

*par :*

*MARCELLA BONAZZOLI<sup>1</sup> — IDEFIX, Inria, ENSTA Paris,  
Institut Polytechnique de Paris*

*THÉOPHILE CHAUMONT-FRELET<sup>2</sup> — Inria, LJAD,  
Université Côte d'Azur*

*JÉRÉMY HELEINE<sup>3</sup> — Institut de Mathématiques de  
Toulouse, Université Toulouse III Paul Sabatier*

*PIERRE MARCHAND<sup>4</sup> — POEMS, CNRS, Inria, ENSTA  
Paris, Institut Polytechnique de Paris*

### RENCONTRE JEUNES CHERCHEUSES JEUNES CHERCHEURS (JCJC) AUTOUR DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA PROPAGATION DES ONDES

L'analyse et la simulation numérique de problèmes de propagation d'ondes comportent de nombreux défis. En régime harmonique, lorsque la fréquence est élevée, on peut notamment citer le fait que la formulation variationnelle n'est pas définie positive et le besoin d'utiliser des maillages très fins pour des résolutions par éléments finis, ce qui rend problématique la construction de solveurs itératifs efficaces. En régime temporel, une difficulté vient de la stabilité et de la consistance des schémas en temps, qui dépendent notamment de la discrétisation spatiale. La rencontre organisée dans le cadre de ce projet BOUM visait à réunir des jeunes chercheuses et jeunes chercheurs travaillant sur différents aspects de cette problématique, afin de croiser les points de vue et sujets de recherche.

Plus de trente participant·e·s francophones (doctorant·e·s, post-doctorant·e·s et jeunes permanent·e·s) se sont retrouvé·e·s pendant quatre demi-journées (du lundi 28 au mercredi 30 novembre 2022) au centre Inria Université Côte d'Azur.

1. [marcella.bonazzoli@inria.fr](mailto:marcella.bonazzoli@inria.fr)

2. [theophile.chaumont@inria.fr](mailto:theophile.chaumont@inria.fr)

3. [jeremy.heleine@math.univ-toulouse.fr](mailto:jeremy.heleine@math.univ-toulouse.fr)

4. [pierre.marchand@inria.fr](mailto:pierre.marchand@inria.fr)

Le public a pu apprécier des présentations riches en contenu scientifique et soigneusement préparées par treize jeunes oratrices et orateurs : Pierre Ame-noagbadji (ENSTA, équipe POEMS), Igor Chollet (LAGA, Université Sorbonne Paris Nord), Tiphaine Delaunay (Inria, équipe M3DISIM), Zakaria Kassali (Inria, équipe Atlantis), Philippe Marchner (Siemens Industry Software), Rose-Cloé Meyer (ENSTA, équipe POEMS), Zoïs Moitier (ENSTA, équipe POEMS), Hadrien Montanelli (Inria, équipe IDEFIX), Alice Nassor (ENSTA, équipe POEMS), Margot Sirdey (ONERA, Inria, équipe MAKUTU), Morgane Steins (CEA, Inria, équipe SERENA) et Tuan Anh Vu (Inria, équipe IDEFIX). Ces exposés portaient sur différents aspects et approches numériques autour de la simulation de la propagation des ondes : méthodes de décomposition de domaine, optimisation et problèmes inverses, équations intégrales et méthodes des éléments de frontière. Les diapositives des interventions sont disponibles sur la page web de la rencontre : [https://jcjc\\_ondes.pages.math.cnrs.fr/](https://jcjc_ondes.pages.math.cnrs.fr/).

Cette rencontre Jeunes Chercheuses Jeunes Chercheurs est la troisième édition après une première organisée en 2017 à Paris par Axel Modave et Bertrand Thierry, focalisée sur la résolution de problèmes d'ondes harmoniques de grande taille, ainsi qu'une seconde édition en 2020, organisée par Marcella Bonazzoli, Théophile Chaumont-Frelet, Axel Modave et Bertrand Thierry. Cette dernière devait se dérouler à Sophia Antipolis, et a pu avoir lieu en ligne malgré la pandémie. Nous sommes heureux·ses d'avoir pu organiser la rencontre qui avait été imaginée en 2020, ainsi, de nombreuses discussions et rencontres ont pu avoir lieu durant les différentes pauses rythmant les présentations, et le dîner organisé où nous nous sommes retrouvé·e-s pour un moment de convivialité.

Nous espérons que cet événement sera reconduit dans le futur, avec un comité d'organisation qui changerait partiellement à chaque édition, ce qui a été fait jusqu'à maintenant. Nous remercions la Fondation Mathématique Jacques Hadamard (Labex Mathématiques Hadamard), la Mission Jeunes Chercheurs Inria, la SMAI (projet BOUM pour les jeunes de la SMAI), ainsi que nos équipes, pour nous avoir accordé leur soutien à l'organisation de cette rencontre. Enfin, nous remercions tout particulièrement Corinne Chen, Montserrat Argente et Julienne Moukalou pour leur aide dans l'organisation de ces rencontres.



**MARCELLA BONAZZOLI**

Marcella BONAZZOLI est Chargée de Recherche à Inria depuis 2018 dans l'équipe-projet IDEFIX (Inria, EDF R&D, ENSTA Paris, Institut Polytechnique de Paris).

**THÉOPHILE CHAUMONT-FRELET**

Théophile CHAUMONT-FRELET est Chargé de Recherche à Inria depuis 2018 dans l'équipe-projet Atlantis (Inria, CNRS, Université Côte d'Azur).

**JÉRÉMY HELEINE**

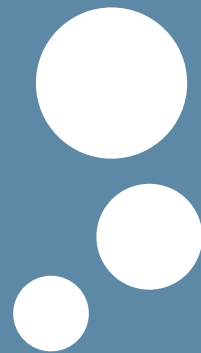
Jérémy HELEINE est Maître de conférences à l'Institut de Mathématiques de Toulouse (Université Paul Sabatier) depuis 2022.

**PIERRE MARCHAND**

Pierre MARCHAND est chercheur (ISFP) à Inria depuis 2021 dans l'équipe POEMS (CNRS, Inria, ENSTA Paris, Institut Polytechnique de Paris).



# Les écoles d'ingénieurs à compo- sante mathématiques importante : épisode 6



*par :*

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

## LES MATHÉMATIQUES DANS LA SPÉCIALITÉ MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES DE SUP GALILÉE (USPN)

*par :*

*Marion DARBAS<sup>1</sup> – Université Sorbonne Paris Nord,  
Institut Galilée, 93 430 Villetaneuse*

*Laurent TOURNIER<sup>2</sup> – Université Sorbonne Paris Nord,  
Institut Galilée, 93 430 Villetaneuse*

### 1 Histoire d'une école d'ingénieurs en banlieue Nord de Paris

La spécialité Mathématiques Appliquées, originellement et encore couramment appelée MACS (Mathématiques Appliquées et Calcul Scientifique), est l'un des cinq diplômes d'ingénieurs de l'école dénommée Sup Galilée, localisée au sein de l'Université Sorbonne Paris Nord (USPN). Les autres diplômes délivrés sont Énergétique, Informatique, Instrumentation et Télécommunications & Réseaux.

1. [darbas@math.univ-paris13.fr](mailto:darbas@math.univ-paris13.fr)

2. [tournier@math.univ-paris13.fr](mailto:tournier@math.univ-paris13.fr)

Sup Galilée est la seule école d'ingénieurs qui n'est ni une composante indépendante ni un établissement indépendant. Elle fait en effet partie de l'Institut Galilée (UFR de sciences à statut d'Institut) fédérant à la fois les cycles licence, master et ingénieur.

Le Centre Universitaire Scientifique et Technique a été d'abord installé à Saint-Denis en 1969, puis à Villeteuse en 1970. Des maîtrises de sciences et techniques existaient dans ce CUST, et la MACS a été accréditée par la Commission des Titres d'Ingénieur (à partir de la maîtrise de sciences et techniques de mathématiques, qui existait depuis 1980) comme formation de spécialité ingénieur (F.S.I) en 1994, troisième diplôme d'ingénieur créé à l'Université Paris Nord (après Matériaux et Télécommunications). D'abord basée sur un enseignement en mathématiques et en mécanique, elle introduit les probabilités et la finance dans le cursus en 1990, et plus récemment, depuis 2010, elle développe le traitement des incertitudes dans les modèles et le traitement mathématique et numérique des données.

## 2 Les spécificités de la formation MACS

Singulière par ses effectifs réduits (20 à 30 étudiants par promotion) qui permettent un accompagnement personnalisé, la formation MACS s'attache à offrir un large éventail de connaissances et de débouchés à ses élèves-ingénieurs. Elle forme ainsi des ingénieurs spécialisés en mathématiques appliquées avec des compétences allant de la modélisation jusqu'au développement de codes de calcul en passant par l'analyse des propriétés des modèles étudiés, avec souvent un investissement plus prononcé sur tel ou tel aspect selon le goût de l'élève-ingénieur. Ce profil est particulièrement recherché par les entreprises et l'industrie. La petite taille des effectifs procure de plus la souplesse nécessaire pour une évolution régulière du projet de formation afin de maintenir son adéquation avec les domaines d'application les plus actuels et l'attractivité de la filière. Les débouchés de la formation MACS sont divers : ingénieurs de recherche ou d'études dans des grands groupes industriels ou des petites start-up, des établissements publics ou encore des sociétés de service en ingénierie, ingénieurs financiers dans des banques ou des sociétés d'assurance, ingénieurs analystes de données dans des secteurs variés, poursuite en thèse (voir Section 3).

Les compétences visées sont d'abord théoriques. Un socle en mathématiques est indispensable, tant en analyse qu'en probabilités et statistiques. S'y ajoutent la maîtrise des outils informatiques (en particulier, de logiciels de calcul et langages de programmation) et, à l'interface, la connaissance de méthodes numériques permettant de rendre effectives les notions théoriques de mathématiques afin de les amener vers les applications. L'ingénieur MACS doit être à même de traiter

des problèmes de domaines divers (mécanique, électromagnétisme, applications biomédicales, systèmes industriels, systèmes financiers...) à l'aide d'outils déterministes (optimisation, modèles EDO ou EDP, résolution de grands systèmes linéaires), probabilistes (incertitudes, modèles markoviens, calcul stochastique) et statistiques (analyse de données, statistiques descriptives ou inférentielles).

L'équipe enseignante compte des enseignants-chercheurs de l'USPN (en mathématiques, en informatique ou en mécanique) et des intervenants extérieurs du monde de l'industrie et de l'entreprise (Airbus, AON, CEA, Crédit Agricole, EDF, IFP, INRIA, ONERA, Safran entre autres). Ces derniers assurent 15 % des heures de cours suivies par un élève en 1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> année et 70 % en 3<sup>e</sup> année. Les enseignants-chercheurs abordent certaines applications en lien avec leurs sujets de recherche au fil des cours. Les intervenants extérieurs proposent des cours en lien avec les applications spécifiques qu'ils rencontrent dans leurs métiers. Cette complémentarité des expertises offre aux élèves une vision des problématiques auxquelles fait face un ingénieur.

D'autre part, les élèves-ingénieurs réalisent un semestre de mobilité internationale en fin de 2<sup>e</sup> année ou au début de la 3<sup>e</sup> année. La formation MACS a des partenariats spécifiques avec un certain nombre d'établissements à l'étranger (avec l'Université de Mälardalen, l'Université de Montréal et l'Université Technique de Munich notamment). Cette mobilité à l'étranger peut également être effectuée lors d'un stage d'initiation à la recherche d'une durée de six à huit semaines en fin de deuxième année.

Enfin, une autre spécificité de la formation MACS réside en la diversité du recrutement qui se fait par le Coursus Préparatoire Ingénieur Intégré (CP2I) au sein de l'école Sup Galilée sur décision du jury, par les Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE) sur concours Geipi-Polytech, par les licences de mathématiques de l'USPN ou d'autres universités françaises sur dossier, et également par les CPGE ou Licence 3, voire M1, à l'étranger, sur dossier et entretien par la procédure Campus France. Cela amène à des profils très variés dans les promotions.

### 3 La formation MACS et la recherche

L'école Sup Galilée s'inscrit au sein d'un institut comprenant sept laboratoires, et la spécialité MACS interagit notamment avec les laboratoires de mathématiques (Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications, LAGA), d'informatique (Laboratoire d'Informatique de Paris Nord, LIPN) et de mécanique (Laboratoire de Science des Procédés et des Matériaux, LSPM). Elle bénéficie de ce fait de liens privilégiés avec la recherche dans son fonctionnement quotidien, à travers les

cours délivrés par les enseignants-chercheurs, qui peuvent y évoquer leurs thématiques de travail, et plus particulièrement à travers les projets qu'ils proposent (Projet Numérique Individuel en 2<sup>e</sup> année, Projet de Fin d'Études en 3<sup>e</sup> année) ou lors d'exposés d'introduction à des domaines d'application des mathématiques. Les élèves sont aussi occasionnellement conviés à des séminaires de recherche au LAGA lorsque le sujet fait écho à un enseignement.

Afin de permettre aux élèves-ingénieurs de se familiariser avec la recherche, la formation encourage à choisir un stage technicien (en fin de 2<sup>e</sup> année) en laboratoire de recherche. Pour les élèves qui n'en ont pas effectué, un sujet de recherche est proposé par un chercheur d'un des laboratoires partenaires, sur lequel les étudiants travaillent en binôme tout le long du 1<sup>e</sup> semestre de 3<sup>e</sup> année.

Riche de cette initiation, une partie des élèves choisit de compléter sa formation par un Master 2 de recherche et, pour 10 à 20 % de chaque promotion, de poursuivre en thèse (notamment sous contrat CIFRE). Un partenariat avec le récent Master de Mathématiques de Données de l'Institut Galilée permet notamment un suivi du M2 en parallèle de la 3<sup>e</sup> année qui renforce la spécialisation.

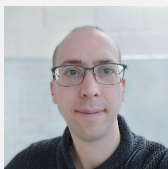
### Marion DARBAS



Marion DARBAS est Professeure à l'Université Sorbonne Paris Nord et chercheuse au Laboratoire Analyse Géométrie et applications. Elle est responsable de la spécialité MACS (dénommée Mathématiques Appliquées dans les textes officiels).

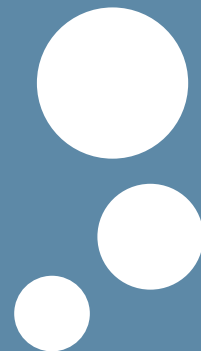
**Email :** [darbas@math.univ-paris13.fr](mailto:darbas@math.univ-paris13.fr)

### Laurent TOURNIER



Laurent TOURNIER est Maître de Conférences à l'Université Sorbonne Paris Nord et chercheur au Laboratoire Analyse Géométrie et applications. Il est Directeur des Études de la spécialité MACS.

**Email :** [tournier@math.univ-paris13.fr](mailto:tournier@math.univ-paris13.fr)



## JOURNÉES MAS 2020

par :

Marguerite ZANI<sup>1</sup> — Institut Denis Poisson,  
Département de mathématiques de l'Université  
d'Orléans

Les 13<sup>ème</sup> Journées du groupe MAS (Modélisation Aléatoire et Statistique) de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles) se sont déroulées du 25 au 27 août 2021 en partie sur le campus de l'université d'Orléans. Cette édition dont l'organisation locale avait été confiée à l'Institut Denis Poisson (UMR CNRS Orléans-Tous) a été repoussée d'un an en raison de la pandémie de Covid19. La situation sanitaire au printemps 2021 a incité les différentes parties prenantes à proposer ces journées en distanciel. Une partie des membres de l'IDP a toutefois pu se retrouver au laboratoire pour assister à cet événement.

Le thème fédérateur de ces journées était *Modélisation aléatoire et physique*. Fabienne Castell, Professeure à l'Université Aix-Marseille, a présidé le comité scientifique tandis que Marguerite Zani, Professeure à l'Université d'Orléans, était en charge du comité d'organisation. La coordination côté groupe MAS a été partagée entre Céline Lacaux, Professeure à l'Université d'Avignon et Clément Marteau, Professeur à l'Université Lyon 1, respectivement ancienne et nouveau responsables du comité de liaison.

Avec un peu plus d'une centaine de participant.es, il s'agit d'une rencontre scientifique à taille humaine qui favorise tout particulièrement les échanges entre probabilités et statistique, un effort particulier étant fait pour s'adresser à un large public. Le programme de ces journées se composait de

---

1. [marguerite.zani@univ-orleans.fr](mailto:marguerite.zani@univ-orleans.fr)

- six conférences plénières invitées d'une heure chacune en lien avec le thème privilégié du colloque : Béatrice de Tilière (Université Paris Dauphine) sur les modèles de dimères sur les graphes minimaux, Davide Faranda (Université Paris Saclay) sur la physique statistique des événements extrêmes, Josselin Garnier (Ecole Polytechnique) sur la propagation des ondes et l'imagerie en milieu aléatoire, Amandine Marrel (CEA) sur l'analyse de sensibilité basée sur les mesures de dépendances HSIC et l'application au traitement des incertitudes en simulation numérique, Rémi Rhodes (Université Aix Marseille) sur le modèle de Liouville et Cristina Toninelli (Université Paris Dauphine) sur le modèle de Fredrickson-Andersen 2-spin facilité.
- Deux conférences plénières de 30 minutes animées par les 2 prix Neveu 2018 et 2019 : Elsa Cazelles (CNRS, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse) sur l'apprentissage de données et le transport optimal, et Léo Miolane (New-York University) sur l'estimation statistique et les modèles de spins.
- Dix sept sessions parallèles de 2 heures chacune dont les thèmes ont été choisis par les deux comités et le groupe MAS et qui respectent un équilibre entre probabilités et statistique (voir la liste et l'organisation sur le site web de la conférence : <https://mas2020.sciencesconf.org/>). Chaque session parallèle, organisée par un chercheur invité, est composée de quatre exposés.

À l'issue du congrès, chaque orateur et oratrice de plénière et chaque organisateur et organisatrice de session a été invité.e à proposer un article qui, après un processus de relecture par les membres du bureau du groupe MAS, sera publié dans un volume spécial de la revue ESAIM : Proceedings.

Même si le virtuel n'a pas permis de présenter des posters de doctorant.e.s, il a cependant été proposé aux participants de se retrouver sur Gather.town pendant les pauses café. En particulier nous avons pu y échanger avec Amandine Veber, secrétaire adjointe aux publications du bureau du CA de la SMAI, ce qui a remplacé à minima le traditionnel stand des éditeurs.

Le comité d'organisation tient à remercier le comité scientifique et le groupe MAS, les oratrices et orateurs de plénières et de sessions, les organisatrices et organisateurs de sessions pour avoir permis la tenue ces journées malgré la contrainte du virtuel. Le contenu scientifique des exposés était de grande qualité et montre la diversité et le dynamisme de la recherche en Probabilités et Statistique en France. Les membres de l'IDP tiennent également à remercier Romain Théron ingénieur informatique et Anne Liger secrétaire du laboratoire pour leur aide pendant ces trois jours.



Les prochaines Journées MAS auront lieu en 2022 à Rouen, sur le thème de la *Modélisation et dynamique stochastiques*. Le comité d'organisation local sera présidé par Pierre Calka (Professeur à l'Université de Rouen) et le comité scientifique par Patricia Reynaud-Bouret (Directrice de recherche au CNRS, Université Côte d'Azur).

### Marguerite ZANI



Professeur en mathématiques à l'institut Denis Poisson et membre de l'équipe de recherche SPACE, Marguerite Zani travaille sur les grandes déviations, et les grandes matrices aléatoires.

**Email :** [marguerite.zani@univ-orleans.fr](mailto:marguerite.zani@univ-orleans.fr)

**Site web :** <https://www.idpoisson.fr/zani/>

## JOURNÉES MAS 2022

*par :*

*Pierre CALKA<sup>2</sup> — Laboratoire de Mathématiques  
Raphaël Salem, Université de Rouen Normandie*

Les Journées MAS (Modélisation Aléatoire et Statistique) constituent l'un des principaux événements fédérant la communauté française et francophone de chercheuses et chercheurs en probabilités et statistique. L'édition 2022 s'est tenue du 29 au 31 août 2022 en plein centre-ville de Rouen, sur le campus Pasteur de l'Université de Rouen Normandie. C'était la toute première fois de leur histoire que les journées MAS faisaient escale en Normandie!

L'événement a rassemblé de l'ordre de 175 personnes sur l'ensemble des 3 jours. Il s'agissait de la première édition en présentiel depuis les journées MAS 2018 à Dijon. En effet, les journées MAS 2020 organisées par les collègues d'Orléans s'étaient tenues intégralement en distanciel en août 2021 en raison de la crise sanitaire.

Il y avait au programme 9 exposés pléniers dans l'amphi de 600 places du bâtiment Pasteur et 80 exposés de sessions parallèles (4 sessions simultanées dans 4 salles de 60 places à 5 occasions sur les 3 jours). Une session de posters a eu lieu le deuxième jour, incluant en particulier une « fresque du climat » proposée par des collègues de Pau. Parmi les 89 présentations orales, environ 39 % ont été assurées par des jeunes chercheuses et chercheurs (en doctorat ou post-doctorat) contre 61 % par des seniors, 35 % par des femmes contre 65 % par des hommes, et un peu moins de 10 % par des personnes en poste en entreprise (SNCF Voyageurs, EDF, Safran, Fujitsu, Ubisoft...) contre 90 % par des membres d'établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche. Au total, ce sont environ 65 établissements différents (universités et grandes écoles, organismes de recherche, entreprises) sur 9 pays qui ont été représentés pendant l'événement.

Sur le plan scientifique, les sessions plénières ont été l'occasion de mettre à l'honneur des grands noms du domaine de l'aléatoire qui ont su proposer un panorama riche et accessible au plus grand nombre de leurs travaux récents : ainsi, Christophe Garban a présenté des liens entre des modèles de physique statistique et des problèmes de statistique bayésienne, Gérard Biau a abordé des architectures de réseaux neuronaux résiduels profonds, Vincent Bansaye a étudié des modèles aléatoires pour l'épidémiologie via la structure de leurs contacts,

---

2. [pierre.calka@univ-rouen.fr](mailto:pierre.calka@univ-rouen.fr)

Jean-François Coeurjolly a évoqué des modèles d'inférence pour les processus ponctuels spatiaux, Irène Marcovici a traité d'automates cellulaires et de leur possible auto-organisation et Mathieu Rosenbaum s'est intéressé à l'utilisation de modèles de dynamique des populations pour représenter les fluctuations financières.

Les 20 sessions parallèles ont couvert un large spectre thématique : 8 sessions en probabilités, des modèles dynamiques aux matrices aléatoires, en passant par les algorithmes stochastiques et les trajectoires rugueuses, 7 sessions en statistique, allant de la statistique non paramétrique à l'intelligence artificielle, via les modèles de bandits et le transport optimal auxquelles se sont rajoutées 3 sessions sur le thème de l'interaction avec d'autres disciplines et le monde industriel : pour la première fois depuis 2014, une session « Maths-Entreprises » et deux sessions appliquées autour de la finance et de la fiabilité.

Ces journées MAS ont aussi été l'occasion de deux événements qui touchent l'ensemble de la communauté. D'une part, Barbara Dembin, Jaouad Mourtada et Armand Riera, les trois lauréats 2020 et 2021 du prix Jacques Neveu distinguant chaque année une ou deux thèses en probabilités et statistique soutenues en France, ont reçu leur prix lors d'une cérémonie publique puis ont eu l'occasion d'exposer en session plénière sur leurs thèmes respectifs : percolation, apprentissage statistique et surfaces aléatoires planaires. D'autre part, l'assemblée générale du groupe MAS de la SMAI a eu lieu le mardi 30 septembre au soir. Elle a été notamment l'occasion d'élire de nouveaux membres du comité de liaison, de faire un tour d'horizon des différentes actions menées par le groupe et de discuter de ses orientations stratégiques.

Toutes les informations sur les journées MAS 2022 et en particulier, l'essentiel des fichiers de présentation des différents exposés sont disponibles sur le site officiel, à l'adresse <https://mas2022.sciencesconf.org/>. Des actes de congrès réunissant des contributions des personnes oratrices dans des sessions plénières ou parallèles sont en préparation. Ils devraient voir le jour mi-2023 dans la revue ESAIM Proceedings qui publie traditionnellement les actes des différentes éditions des journées MAS.

On se souviendra enfin qu'à l'occasion de ces journées, nous avons profité d'un temps exceptionnel pour la ville – pas une goutte de pluie! – et de réceptions à l'Hôtel de Ville de Rouen et le lendemain à l'Hôtel de Bourghtheroulde, ancien hôtel particulier datant du XVI<sup>ème</sup> siècle.

La prochaine édition devrait se tenir à Poitiers en 2024. Ce sera à nouveau une grande première pour les journées MAS. Tous nos vœux de succès à la nouvelle équipe d'organisation!

Pierre CALKA



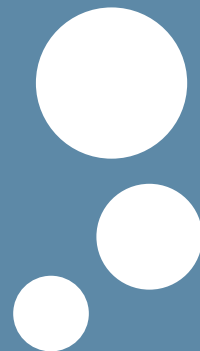
Professeur en mathématiques au laboratoire de Mathématiques Raphaël Salem, Université de Rouen Normandie, Pierre Calka travaille en probabilité et en géométrie aléatoire, plus particulièrement sur les mosaïques aléatoires, les ensembles convexes et polytopes aléatoires, ainsi que sur le modèle booléen et les recouvrements aléatoires.

**Email :** [pierre.calka@univ-rouen.fr](mailto:pierre.calka@univ-rouen.fr)

**Site web :** [https:](https://lmrs.univ-rouen.fr/fr/persopage/pierre-calka)

[//lmrs.univ-rouen.fr/fr/persopage/pierre-calka](https://lmrs.univ-rouen.fr/fr/persopage/pierre-calka)

# Prix Neveu : Surfaces Browniennes



par :

Armand RIERA<sup>1</sup> — Maître de conférences, LPSM

---

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1 Modèles discrets de géométrie aléatoire</b> . . . . .	36	<b>2.2 L'analogie continue des étiquettes</b> . . . . .	42
1.1 Cartes aléatoires . . . . .	36	<b>3 Markov spatiale</b> . . . . .	45
1.2 Bijection CVS . . . . .	38	3.1 Le cas du disque brownien . . . . .	45
<b>2 Géométrie brownienne</b> . . . . .	41	3.2 Une construction unifiée . . . . .	47
2.1 Limite d'échelle de grands arbres aléatoires . . . . .	41	3.3 Profil isopérimétrique . . . . .	49
		<b>Références</b> . . . . .	50

Nous présenterons ici quelques éléments de la théorie des surfaces browniennes. Ces dernières sont des modèles continus de surfaces aléatoires, émergeant comme limites de très grands graphes aléatoires dessinés sur la sphère. Ce phénomène fait écho au célèbre mouvement brownien, qui apparaît comme limite de grands chemins aléatoires. Les surfaces browniennes peuvent donc être interprétées comme une version métrique du mouvement brownien. De plus, cette géométrie aléatoire joue un rôle crucial dans les modèles de gravitation quantique en dimension 2. Nous commencerons par introduire le contexte général de cette théorie en partant de son analogue discret, et présenterons également la construction des surfaces browniennes. Nous expliquerons ensuite comment explorer métriquement ces surfaces et la manière dont les parties non-découvertes dépendent de la zone explorée. En particulier, nous verrons que ces surfaces bénéficient de propriétés d'indépendance. Nous présenterons enfin des applications concernant le profil isopérimétrique des surfaces browniennes.

---

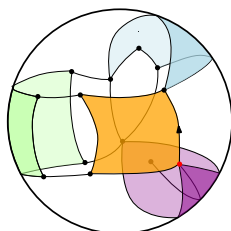
1. [riera@lpsm.paris](mailto:riera@lpsm.paris)

## 1 Modèles discrets de géométrie aléatoire

### 1.1 Cartes aléatoires

Les surfaces browniennes sont des modèles canoniques de surfaces continues aléatoires. Cependant, définir ces objets et justifier leur pertinence de manière intrinsèque est une tâche ardue et complexe. C'est pour cette raison que nous commencerons par considérer des modèles aléatoires discrets et que nous introduirons les surfaces browniennes comme limites d'échelle.

Les objets qui nous intéressent dans cette section sont les cartes planaires. De manière informelle, une carte planaire est un dessin sur la sphère de quelques points (appelés sommets) reliés par des routes (appelées arêtes) de manière à ce que deux arêtes ne puissent pas se croiser et qu'il soit possible d'aller de sommet en sommet en suivant une succession d'arêtes. Cela nous permet d'obtenir un planisphère où les faces/pays sont délimités par des arêtes/frontières. C'est cette interprétation en termes de planisphère qui donne son nom au concept de carte planaire.



**FIGURE 1** — *Un exemple de carte planaire munie d'une arête orientée distinguée. La face violette est obtenue en recollant ensemble deux arêtes du même polygone.*

Plus formellement, une carte planaire est un graphe fini et connexe plongé sur la sphère  $S_2$ . Pour éviter des redondances, nous considérerons ici les cartes planaires à déformations continues de la sphère près. De manière équivalente, elles peuvent aussi être définies comme des recollements de polygones sous la contrainte d'obtenir topologiquement une sphère. Les cartes planaires apparaissent dans de nombreuses problématiques allant de la combinatoire à la physique théorique, en passant par les matrices aléatoires. Pour des raisons techniques – principalement pour briser des symétries – nous distinguerons toujours une arête orientée (ce qui fixe le sens d'une route). Le sommet duquel part cette arête orientée est appelé *sommet racine* de la carte, en rouge sur la Figure 1 ci-contre. Nous concevons la racine comme le point duquel observer

la carte. Rappelons également qu'une carte planaire est munie de la distance de graphe entre ses sommets, où la distance entre deux sommets est le nombre minimal d'arêtes à emprunter pour aller de l'un à l'autre. L'une des principales motivations pour étudier ces structures d'un point de vue probabiliste vient, d'une part, du fait que les cartes planaires peuvent être interprétées comme des espaces métriques compacts – lorsqu'on les considère équipées de leurs distances de graphes – et, d'autre part, du constat que l'espace de toutes les cartes planaires est un espace dénombrable.

**Géométrie aléatoire discrète.** Un modèle de cartes planaires est un sous-ensemble de cartes planaires vérifiant certaines contraintes combinatoires ou géométriques. On dira par exemple qu'une carte planaire est une  $p$ -angulation si toutes ses faces sont des  $p$ -gones. Pour  $p = 3$  et  $p = 4$ , on parlera respectivement de triangulations et de quadrangulations, voir Figure 1 pour un exemple de quadrangulation. Les cartes planaires sont donc des modèles discrets de géométrie planaire nous permettant de considérer des géométries aléatoires. Ces modèles jouent un rôle majeur en physique théorique, où ils sont considérés comme des modèles de gravitation quantique en dimension 2 et comme un moyen de donner sens à un analogue des intégrales de chemin de Feynman portant sur des surfaces (à la place de l'intégrale de chemin plus classique portant sur des trajectoires). Ils sont également utilisés comme briques élémentaires dans certaines tentatives d'unification de la relativité générale et de la mécanique quantique, car les physiciens ont besoin d'une notion canonique de « géométrie aléatoire continue planaire ». L'idée pour obtenir ces modèles continus est de considérer des limites d'échelles de modèles de cartes aléatoires.

**Limites d'échelle.** La procédure est la suivante. Nous commençons par fixer un modèle  $\mathcal{M}$  de cartes puis, pour tout entier  $n \geq 1$ , nous définissons une carte uniforme  $m_n$  dans l'ensemble des cartes à  $n$  faces dans  $\mathcal{M}$  (pourvu que cet ensemble soit non vide). Nous étudions ensuite le comportement limite de  $m_n$  lorsque  $n \rightarrow \infty$ . L'un des intérêts majeurs des cartes aléatoires est que, pour certains modèles, des surfaces aléatoires continues apparaissent à la limite. C'est notamment le cas lorsque les polygones recollés ont un petit périmètre : les limites d'échelle alors obtenues sont connues sous le nom de *surfaces browniennes*. Cependant, prouver des théorèmes de convergence pour des modèles de cartes est délicat car il faut contrôler la convergence d'espaces métriques. L'on doit à Jean-François Le Gall et à Grégory Miermont les premiers résultats de limites d'échelle de cartes aléatoires.<sup>2</sup> Par souci de concision et pour davantage de commodité, nous

2. Ces résultats ont été obtenus de manière indépendante.

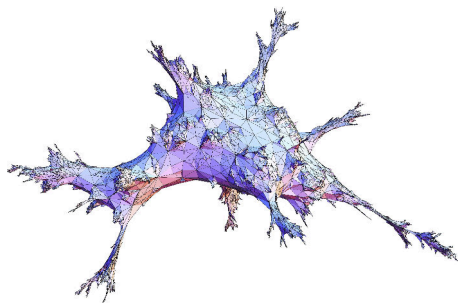
nous restreindrons ici au modèle des quadrangulations i.e. aux cartes obtenues par recollement de polygones à quatre arêtes et munies d'une arête orientée distinguée – comme sur la Figure 1.

## 1.2 Bijection CVS

Notons  $\mathcal{Q}_n$  l'ensemble des quadrangulations à  $n$  faces. L'ensemble  $\mathcal{Q}_n$  est fini et nous pouvons donc considérer  $Q_n$  une quadrangulation uniforme dans  $\mathcal{Q}_n$ . Notre objectif est maintenant de présenter le comportement de  $Q_n$  lorsque  $n$  tend vers l'infini. Le premier pas dans cette direction est d'explicitier quantitativement la loi de  $Q_n$  ou, de manière équivalente, de comprendre la probabilité que  $Q_n$  prenne une valeur en particulier. La variable  $Q_n$  étant uniforme, cela revient à déterminer le cardinal de  $\mathcal{Q}_n$ . Pour ce faire, nous nous reposons sur un autre fait combinatoire fondamental des cartes planaires : nous pouvons les compter très précisément. Dans le cas des quadrangulations, cela se traduit par la formule close suivante :

$$\#\mathcal{Q}_n = \frac{2}{n+2} 3^n \frac{1}{n+1} \binom{2n}{n}. \quad (1)$$

Ce type de formule est le point de départ pour étudier le comportement à grande échelle de  $Q_n$  i.e. lorsque  $n \rightarrow \infty$ . Examinons par exemple le diamètre  $\text{diam}(Q_n)$  de  $Q_n$ , c'est-à-dire la distance maximale entre deux sommets de  $Q_n$ . Par définition,  $\text{diam}(Q_n)$  est une quantité aléatoire fluctuant avec la taille  $n$ . Dans [6], Philippe Chassaing et Gilles Schaeffer établissent que  $\text{diam}(Q_n)$  est d'ordre  $n^{1/4}$  avec une erreur évanescence lorsque  $n \rightarrow \infty$ .



**FIGURE 2** — *Recollement de triangulations au hasard. Simulation due à Nicolas Curien.*



Soulignons que l'exposant  $1/4$  est très différent de ce que nous pourrions attendre d'autres géométries planaires plus régulières ou euclidiennes. Par exemple, pour un quadrillage ou pavage régulier, nous devrions obtenir l'exposant  $1/2$ . En réalité, l'exposant  $1/4$  indique que le comportement à grande échelle de  $Q_n$  est rugueux et froissé, voire fractal. La carte  $Q_n$  est loin d'être une surface lisse et s'apparenterait plutôt à une montagne extrêmement irrégulière. Les géodésiques<sup>3</sup> de  $Q_n$  viennent renforcer et préciser cette analogie : contrairement à la géométrie euclidienne classique, les géodésiques de  $Q_n$  passent par un nombre restreint de sentiers ou vallées.

Le lecteur pourrait se demander par quelles méthodes appréhender ces objets, nous amenant à introduire la bijection de Cori-Vauquelin-Schaeffer – ou bijection CVS. Cette dernière relie les quadrangulations aux arbres étiquetés. Le but est double : d'une part concrétiser le concept de carte et expliquer comment obtenir des formules comme (1), mais aussi préparer la présentation des surfaces browniennes. Commençons par introduire les arbres étiquetés. Un arbre étiqueté est un arbre planaire, c'est-à-dire une carte planaire à une seule face, enrichi avec des étiquettes. Plus précisément, un étiquetage d'un arbre planaire  $\mathcal{T}$  est une fonction  $\ell$  assignant à chaque sommet un entier relatif vérifiant les propriétés suivantes :

- L'étiquette de la racine est 0;
- Pour tout  $u, v \in \mathcal{T}$  voisins, on a  $\ell(u) - \ell(v) \in \{-1, 0, 1\}$ .

Fixons  $\mathcal{T} = (\mathcal{T}, \ell)$  un arbre étiqueté à  $n$  sommets ainsi qu'un entier  $\epsilon \in \{-1, 1\}$ , et construisons une carte planaire  $\text{CVS}(\mathcal{T}, \epsilon)$ . Commençons par introduire un nouveau sommet  $v_*$  ne touchant pas  $\mathcal{T}$  et appelons *coin* de  $\mathcal{T}$  n'importe quel secteur angulaire entre deux arêtes adjacentes. Ensuite, pour chaque coin  $c$  avec étiquette  $i$ , dessinons une arête reliant ce coin avec le premier coin d'étiquette  $i - 1$  rencontré en suivant le contour de  $\mathcal{T}$  (dans le sens des aiguilles d'une montre). S'il n'existe pas de tel coin, relierons  $c$  avec  $v_*$ . Ces nouvelles arêtes peuvent être dessinées sans croisement. Distinguons maintenant l'arête tracée à partir du coin gauche de l'arête racine de  $\mathcal{T}$ , et orientons la vers la racine de  $\mathcal{T}$  si  $\epsilon = 1$  ou dans le sens inverse si  $\epsilon = -1$ . Effacer les arêtes de l'arbre  $\mathcal{T}$  nous permet alors d'obtenir une quadrangulation à  $n + 1$  sommets, avec un point marqué  $v_*$ . De plus, les étiquettes sur les sommets encodent les distances vers  $v_*$  dans la quadrangulation  $\text{CVS}(\mathcal{T}, \epsilon)$ . Plus précisément, on a :

$$d_{\text{gr}}(v, v_*) = \ell(v) - \min \ell + 1, \quad (2)$$

pour tout sommet  $v$  de  $\mathcal{T}$ .

3. Les géodésiques sont les chemins les plus courts pour aller d'un point à un autre.

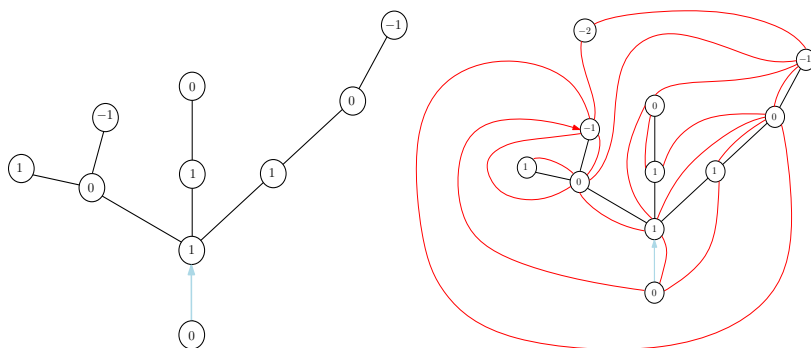


FIGURE 3 — Illustration de la bijection CVS avec  $\epsilon = 1$ .

L'application CVS définit une bijection entre les paires – consistant en un arbre planaire étiqueté et en un entier dans  $\{-1, 1\}$  – et les quadrangulations avec un point marqué.

**Simulation de  $Q_n$ .** Montrons comment obtenir  $Q_n$  en utilisant des arbres étiquetés. Commençons par considérer une variable uniforme  $\epsilon$  dans  $\{-1, 1\}$ , un arbre planaire uniforme à  $n + 1$  sommets, puis tirons une variable uniforme dans l'ensemble  $\{-1, 0, 1\}$  sur chaque arête de l'arbre de telle manière que toutes ces variables aléatoires soient indépendantes entre elles. L'étiquette d'un sommet est alors la somme des étiquettes des arêtes sur la branche allant de la racine au sommet en question. Une application de la bijection CVS nous permet ensuite d'obtenir une quadrangulation aléatoire uniforme à  $n + 2$  sommets. Finalement, il est aisé de voir qu'une quadrangulation possède  $n + 2$  sommets si et seulement si elle est composée de  $n$  faces, en utilisant par exemple la formule d'Euler. Le-a lecteur-riche peut alors retrouver la formule (1) en mobilisant le fait que le nombre d'arbres planaires à  $n + 1$  sommets est donné par le  $n$ -ième nombre de Catalan  $\frac{1}{n+1} \binom{2n}{n}$ . Cette construction permet également de comprendre l'exposant  $1/4$ , relié au diamètre de  $Q_n$ . De fait, un arbre aléatoire choisi uniformément parmi les arbres à  $n + 1$  sommets a typiquement des branches de longueur d'ordre  $\sqrt{n}$ . De plus, le long de chacune de ses branches, les étiquettes ont des incréments aléatoires dans  $\{-1, 0, 1\}$  et, en prenant la variance, nous observons qu'elles atteignent des valeurs d'ordre  $\sqrt{\sqrt{n}} = n^{1/4}$ .

**Autres bijections.** Depuis les travaux de Robert Cori, Bernard Vauquelin et Gilles Schaeffer, d'autres bijections entre des modèles de cartes et des modèles

d'arbres étiquetés ont été découvertes. Chacune de ces bijections a ses propres vertus. Par souci de brièveté, nous ne pouvons malheureusement pas faire ici un bilan de ces bijections ; nous nous contentons donc de donner quelques références pour le-a lecteur-riche intéressé-e [4, 16, 5]. Nous renvoyons aussi à [7] pour un autre article de divulgation sur les cartes aléatoires.

## 2 Géométrie brownienne

Dans cette section, nous introduirons de manière heuristique la construction de la surface brownienne la plus célèbre : la sphère brownienne. Rappelons que cette dernière apparaît comme limite d'échelle de grandes quadrangulations aléatoires. Plus formellement, d'après [14, 17] nous avons la convergence suivante :

$$(Q_n, n^{-1/4} \cdot d_{\text{gr}}) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} (\mathcal{S}, \Delta), \quad (3)$$

où  $(\mathcal{S}, \Delta)$  est l'espace aléatoire appelé sphère brownienne, et  $n^{-1/4} \cdot d_{\text{gr}}$  désigne la distance de graphe sur  $Q_n$  réduite d'un facteur  $n^{-1/4}$ .<sup>4</sup> La précédente convergence a lieu en distribution pour la topologie de Gromov-Hausdorff. Définir ces termes sort malheureusement du cadre de cet article – de manière informelle (3) encapsule le fait qu'il est impossible de différencier les espaces métriques  $(Q_n, n^{-1/4} \cdot d_{\text{gr}})$  de  $(\mathcal{S}, \Delta)$  lorsque  $n \rightarrow \infty$ . L'objectif de cette section sera de mimer la bijection CVS dans le continu  $n \rightarrow \infty$  afin d'aboutir à une construction de la sphère brownienne  $(\mathcal{S}, \Delta)$ .

### 2.1 Limite d'échelle de grands arbres aléatoires

Les arbres (planaires) constituent le modèle de cartes le plus simple à étudier. En effet, l'absence de cycle induit qu'il est suffisant de connaître toutes les géodésiques à un point pour reconstruire complètement l'arbre sous-jacent. Les arbres sont des objets combinatoires émergeant naturellement dans plusieurs domaines ; l'étude des propriétés des grands arbres aléatoires joue d'ailleurs un rôle fondamental dans certaines branches de l'informatique et de la physique. Au début des années 1990, David Aldous introduisit un arbre continu fractal aléatoire encodant le comportement de grands arbres aléatoires : c'est leur limite d'échelle. Cet objet fut baptisé *arbre d'Aldous*. Plus précisément, nous considérons  $T_n$  une variable aléatoire uniforme dans l'ensemble des arbres planaires à  $n$  sommets et notons  $d_{T_n}$  sa distance de graphe. David Aldous montra que l'espace compact

4. Le facteur  $n^{-1/4}$  fait écho à la taille du diamètre de  $Q_n$ .

aléatoire  $(T_n, n^{-1/2} \cdot d_{T_n})$  converge en distribution vers l'arbre d'Aldous, que nous notons  $\mathcal{T}$  et dont on peut voir une approximation imagée en figure 4.

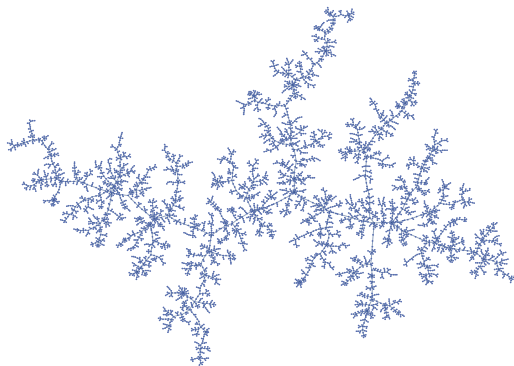


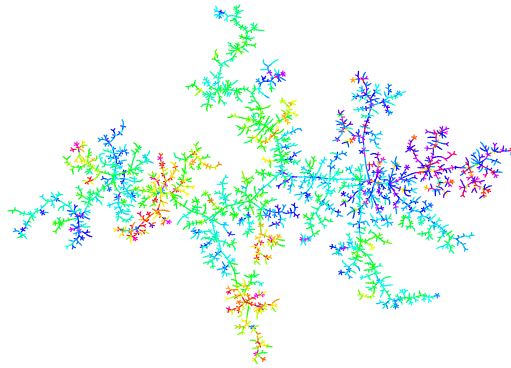
FIGURE 4 — Simulation de l'arbre d'Aldous.

## 2.2 L'analogie continu des étiquettes

Passons maintenant aux étiquettes et commençons par rappeler que pour obtenir une quadrangulation uniforme, nous devons considérer une variable uniforme dans l'ensemble  $\{-1, 0, 1\}$  sur chaque arête de l'arbre. L'étiquette d'un sommet est alors la somme des étiquettes le long du chemin le connectant à la racine. Le long de chaque branche de l'arbre, nous obtenons un mouvement qui évolue en suivant des incréments dans  $\{-1, 0, 1\}$ , et ce, de manière indépendante. Un tel processus est nommé *marche aléatoire* : il modélise le mouvement d'un marcheur sans mémoire ou ivre le long d'un axe. De plus, lorsque plusieurs directions sont possibles, notre marche aléatoire se scinde en plusieurs marches indépendantes. Afin de comprendre ce qu'il se passe lorsque la taille de l'arbre augmente, nous utilisons le fait que les marches aléatoires convergent elles-aussi vers un équivalent continu. Cet équivalent est le célèbre *mouvement brownien*, qui modélise à son tour un mouvement continu complètement aléatoire et sans mémoire.

L'analogie continu des étiquettes dans la bijection CVS serait alors de considérer des mouvements browniens le long des branches de l'arbre d'Aldous  $\mathcal{T}$ . Le processus ainsi obtenu est connu sous le nom de mouvement brownien indexé par  $\mathcal{T}$  ou *serpent brownien*. Cet objet joue un rôle fondamental en théorie des probabilités et fut introduit par Jean-François Le Gall. Il apparaît notamment

dans la théorie des superprocessus, ou encore dans l'étude de certaines équations aux dérivées partielles.

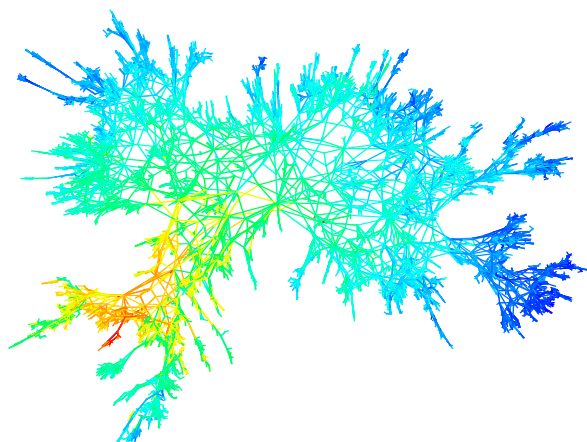


**FIGURE 5** — Approximation de l'arbre d'Aldous muni d'étiquettes browniennes. Les couleurs représentent les étiquettes : les couleurs jaunes et vertes correspondent à des étiquettes négatives alors que les couleurs bleues et violettes correspondent à des étiquettes positives. La couleur rouge traduit les valeurs extrêmes.

Le serpent brownien est l'analogue continu des arbres étiquetés et il est possible de mimer la bijection de CVS sur ce dernier pour construire un espace métrique aléatoire. L'espace ainsi obtenu est la *sphère brownienne*. Malheureusement, la définition formelle de cette construction est complexe et dépasse le cadre de cet article. Par conséquent, nous renvoyons le lecteur-riche intéressé-e aux travaux [11, 14, 17, 10] pour plus d'informations. Mentionnons uniquement que le résultat de convergence (3) peut-être compris comme un résultat de continuité de la bijection CVS. De plus, cette construction à l'aide du serpent brownien permet d'étudier la sphère brownienne directement à l'aide de la théorie plus classique des processus stochastiques, et ce, de manière intrinsèque i.e. sans faire référence aux modèles discrets. Nous nous attacherons dans les sections suivantes à expliciter certains résultats allant dans cette direction.

**Autres modèles continus.** Ces dernières années ont vu apparaître plusieurs variantes de la sphère brownienne comme limite d'échelle de modèles discrets, les principales variantes étant le *disque brownien*, le *plan brownien*, le *demi-plan brownien* et le *disque brownien de volume infini*. Cette famille de modèles continus est connue sous le nom de surfaces browniennes et le nom de chaque modèle

spécifie sa topologie.<sup>5</sup> Ces surfaces peuvent être décrites à l'aide d'arbres continus étiquetés de manière analogue à la sphère brownienne, voir [2] ou notre travail [15]. En général, ces étiquettes sont des modifications de mouvements browniens. Relevons que, parallèlement à la rédaction de cet article, Jérémie Bettinelli et Grégory Miermont ont élargi la famille des surfaces browniennes à des topologies de genre arbitraire dans [3].<sup>6</sup>



**FIGURE 6** — *Approximation de la sphère brownienne. Les couleurs représentent les distances à un point uniforme, ici coloré en rouge.*

**Mesure volume.** Mentionnons aussi que chaque surface brownienne est munie d'une mesure volume. Cette dernière offre un moyen naturel de mesurer la taille des sous-ensembles des surfaces browniennes. De manière intuitive, la mesure volume peut être vue comme une mesure de Lebesgue sur chacune de ces surfaces, et elle généralise la mesure de comptage des sommets sur les cartes planaires.

**Gravité quantique.** Soulignons enfin que les surfaces browniennes peuvent être étudiées directement à l'aide de la gravité quantique de Liouville, voir par exemple [9, 18]. Cette approche conçoit les surfaces browniennes comme des objets conformes.

5. Le disque brownien de volume infini a la topologie du plan complexe après avoir enlevé le disque unité ouvert.

6. Ces nouvelles surfaces sont elles aussi encodées à l'aide d'arbres étiquetés.

### 3 Markov spatiale

Nous aborderons dans cette section des questions d'indépendance et d'exploration au sein des surfaces browniennes. Commençons par une analogie avec le mouvement brownien. Rappelons que ce dernier est une fonction continue purement aléatoire et notons le  $(B_t : t \geq 0)$ . L'une des caractéristiques fondamentales du mouvement brownien est qu'il bénéficie de la propriété de Markov suivante. Imaginons que nous laissons évoluer le mouvement brownien jusqu'à un instant  $r$  ou, de manière équivalente, que nous avons exploré ce mouvement jusqu'au temps  $r$ . L'avenir ou zone à explorer de ce mouvement  $(B_t : t \geq r)$  ne dépend alors de son passé  $(B_t : t \in [0, r])$  qu'à travers sa position à l'instant  $r$ . En termes plus mathématiques, nous disons que conditionnellement à  $B_r$ , le processus  $(B_t : t \geq r)$  est indépendant de  $(B_t : t \in [0, r])$  et de manière plus concise, que  $B$  est Markovien. Notons parallèlement que  $(B_t : t \geq r)$  est lui aussi un mouvement brownien. Il est alors raisonnable de se demander si des phénomènes semblables surviennent en géométrie brownienne. Relevons cependant que les surfaces browniennes sont des espaces métriques aléatoires et qu'il faut par conséquent une bonne notion d'exploration et d'interface entre la zone explorée et les zones à explorer. Ce sont ces questions auxquelles nous nous intéresserons dans cette section. Plus précisément, nous aborderons le comportement des surfaces browniennes lorsqu'on les explore de manière métrique en découvrant des boules de plus en plus grandes.

#### 3.1 Le cas du disque brownien

Afin de répondre à cette problématique, nous considérons dans cette section le cas du disque brownien, qui est le modèle canonique aléatoire possédant la topologie du disque unité fermé du plan complexe. Le disque brownien possède un bord – les points n'ayant pas de voisinage homéomorphe au disque ouvert – et est muni d'une distance ainsi que d'une mesure volume. La loi du disque brownien dépend de deux paramètres réels positifs : la longueur de son bord – ou périmètre – et son volume. Pour des raisons techniques, nous considérons ici une variante du disque brownien à volume aléatoire, nommée *version libre*. Nous cherchons à comprendre les phénomènes entrant en jeu lorsque l'on découpe un disque brownien libre en fonction des distances à son bord. Plus précisément, si nous notons  $\mathbb{D}_z$  le disque brownien libre de périmètre  $z$  et  $B_r(\mathbb{D}_z)$  l'ensemble des points à distance inférieure à  $r$  du bord, alors l'ensemble  $\mathbb{D}_z \setminus B_r(\mathbb{D}_z)$  est constitué de plusieurs composantes connexes possédant chacune la topologie du disque unité fermé, voir Figures 6 et 7. Mais comment  $B_r(\mathbb{D}_z)$  et les composantes

connexes de  $\mathbb{D}_z \setminus B_r(\mathbb{D}_z)$  dépendent-elles les unes des autres? Pour répondre à cette question, nous présenterons ici les réponses apportées dans l'article [13], co-écrit avec Jean-François Le Gall.

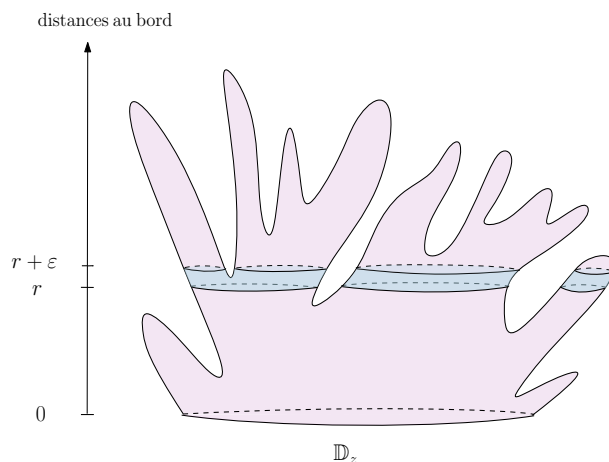


FIGURE 7 — L'axe vertical représente les distances au bord.

Le premier pas pour répondre à cette question est de donner sens à la longueur du bord de ces composantes connexes, simultanément pour tout niveau  $r$ . Les bords sont des courbes fractales; nous ne pouvons donc pas calculer leurs longueurs directement avec la métrique du disque brownien. Afin de contourner cette difficulté, pour chaque composante connexe de  $\mathbb{D}_z \setminus B_r(\mathbb{D}_z)$ , nous considérons le volume d'une petite couronne autour de son bord. Il est alors possible de montrer que cette quantité peut être proprement changée d'échelle afin d'obtenir une limite non dégénérée lorsque l'on prend des couronnes de plus en plus fines, voir Figure 7. La quantité ainsi obtenue est la longueur du bord. Nous établissons ensuite que les composantes connexes de  $\mathbb{D}_z \setminus B_r(\mathbb{D}_z)$ , conditionnellement aux longueurs de leurs frontières, sont des disques browniens libres, indépendants et de périmètres les longueurs des bords associés. Ceci montre que le disque brownien satisfait une propriété de Markov similaire à celle du mouvement brownien. Du fait de sa nature purement géométrique, nous parlerons de *propriété de Markov spatiale*.

**Processus des longueurs.** Pour que cette propriété soit utile il est essentiel de comprendre l'évolution de la collection des longueurs des bords lorsque  $r$  croît.



Pour ce faire, nous établissons que ce processus est bien identifié et explicite.<sup>7</sup> Les preuves des résultats exposés précédemment utilisent de manière fondamentale le lien entre les surfaces browniennes et le serpent brownien, ce qui permet d'identifier certains processus et d'effectuer des calculs précis. En effet, ces preuves reposent, entre autres, sur la théorie des excursions du serpent brownien développée dans [1].

### 3.2 Une construction unifiée

La sphère brownienne peut être perçue comme un disque brownien de périmètre 0, ce qui permet d'étendre la propriété de Markov spatiale à ce modèle. Pour transférer ensuite cette propriété aux autres surfaces browniennes, il est nécessaire d'établir des liens et des connexions entre ces différents modèles. C'est pour cette raison que nous avons développé avec Jean-François Le Gall dans [15] une construction unifiée des trois modèles principaux de surfaces browniennes non-compactes, à savoir le plan brownien, le demi-plan brownien et le disque brownien de volume infini. L'idée fondamentale est d'adapter la construction de la sphère brownienne en termes d'arbres aléatoires étiquetés, de manière à ce que les étiquettes aient une bonne interprétation géométrique. Décrivons heuristiquement cette construction. Les arbres que nous employons sont des arbres non-compacts formés d'une épine dorsale infinie décorée d'étiquettes positives, sur laquelle sont recollés des serpents browniens tronqués lorsqu'ils touchent l'étiquette 0. Plus précisément, commençons avec l'arbre d'Aldous infini  $\mathcal{T}_\infty$ <sup>8</sup> qui est constitué d'une lignée infinie / d'une épine dorsale isométrique à  $[0, \infty[$  sur laquelle se branchent « à gauche et à droite » des arbres d'Aldous de manière indépendante – en termes mathématiques, nous utilisons deux nuages poissoniens d'arbres d'Aldous. Mentionnons que  $\mathcal{T}_\infty$  a un seul bout topologique : les arbres greffés sur l'épine sont tous compacts et l'unique manière d'aller à l'infini est de suivre l'épine dorsale. Munissons l'arbre  $\mathcal{T}_\infty$  d'étiquettes de la manière suivante :

- Les étiquettes le long de l'épine  $[0, \infty[$  suivent un mouvement brownien partant de 0 et conditionné à rester positif ;
- Les étiquettes le long d'un arbre recollé sur l'épine sont browniennes et commencent à l'étiquette du point de l'épine sur lequel l'arbre est greffé.

Élaguons toute branche de  $\mathcal{T}_\infty$  à partir de l'étiquette 0, donnant ainsi naissance à un nouvel arbre infini noté  $\mathcal{T}_\infty^*$ .

7. Il s'agit d'un processus de croissance-fragmentation.

8. Il peut être défini comme la limite de l'arbre d'Aldous conditionné à avoir un volume infini.



**FIGURE 8** — Illustration de l'arbre élagué  $\mathcal{T}_\infty^*$ . La hauteur représente les distances à 0 des étiquettes. L'épine est coloriée en jaune et les points d'étiquette nulle sont coloriés en rouge.

Présentons rapidement comment construire les surfaces browniennes non-compactes à l'aide de  $\mathcal{T}_\infty^*$ . L'ensemble des points de  $\mathcal{T}_\infty^*$  d'étiquette 0 – en rouge sur la Figure 9 – est un ensemble de Cantor, mais il est malgré cela possible de définir une variable aléatoire  $Z$  rendant compte de sa taille. Nous pouvons dès lors adapter la construction de la sphère brownienne à l'arbre  $\mathcal{T}_\infty^*$  pour obtenir :

- Le plan brownien sous le conditionnement  $Z = 0$ ;
- Le disque brownien de volume infini et de périmètre  $z > 0$  sous le conditionnement  $Z = z$ ;
- Le demi-plan brownien sous le conditionnement  $Z = \infty$ .

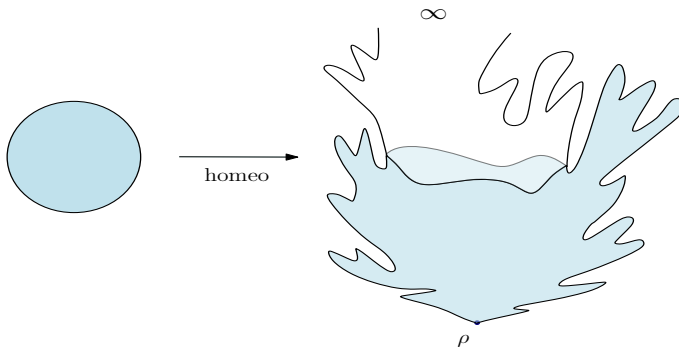
Dans ces constructions, les étiquettes ont une interprétation géométrique. Elles correspondent aux distances au bord,<sup>9</sup> ce dernier étant encodé à son tour par les points d'étiquette 0. La variable  $Z$  représente la longueur fractale du bord. Ces constructions permettent aussi d'avoir accès de manière simple aux géodésiques vers le bord. Il faut néanmoins adapter la construction de la sphère brownienne avec soin pour éviter des problèmes de recollement – l'écriture du plan brownien obtenue correspond à celle introduite dans [8]. Soulignons aussi que la variable aléatoire  $Z$  est presque sûrement infinie, ce qui rend le conditionnement pour le demi-plan brownien superflu et les conditionnements du plan brownien et du disque brownien de volume infini dégénérés. La plupart du travail technique dans [15] est dédié à donner un sens précis à ces conditionnements dégénérés. Les méthodes employées dans [15] peuvent ainsi être comprises comme un

9. Dans le cas du plan brownien, le bord est réduit à un unique point, appelé *point racine*.

ensemble de recettes permettant d'établir des modèles de géométrie brownienne sous différents conditionnements.

### 3.3 Profil isopérimétrique

Concluons cet article en donnant un exemple de propriété purement géométrique des surfaces browniennes pouvant être étudiée en tirant avantage de la propriété de Markov spatiale. Intéressons-nous au profil isopérimétrique du plan brownien. Rappelons que le plan brownien possède la topologie du plan complexe et qu'il est équipé d'une distance  $\Delta_\infty$  et d'une mesure volume  $V_\infty$ . Considérons aussi un point uniforme  $\rho$  sur le plan Brownien. Nous étudions ici les domaines de Jordan – ensembles homéomorphes au disque unité fermé – contenant  $\rho$  dans leurs intérieurs et nous notons  $\mathcal{K}$  l'ensemble de ces domaines. Pour tout  $A \in \mathcal{K}$ , nous comparons son volume  $V_\infty(A)$  et la longueur métrique de son bord  $\Delta_\infty(\partial A)$ .<sup>10</sup> Soulignons que nous utilisons ici la longueur de  $\partial A$  par rapport à la métrique  $\Delta_\infty$ , contrairement au cas des courbes fractales où l'on prend le volume de petits voisinages.



**FIGURE 9** — L'axe vertical représente les distances à  $\rho$ . En bleu, nous dessinons un exemple d'ensemble dans  $\mathcal{K}$ .

Dans [19] nous démontrons que, pour toute fonction  $f : \mathbb{R}_+ \mapsto (0, \infty)$  croissante, nous avons :

$$\inf_{A \in \mathcal{K}} \frac{\Delta_\infty(\partial A)}{V_\infty(A)^{\frac{1}{4}}} f(|\log(V_\infty(A))|) > 0 \text{ p.s.} \iff \sum_{m \in \mathbb{N}} f(m)^{-2} < \infty. \quad (4)$$

10. La mesure  $V_\infty$  est borélienne, ce qui implique que le volume  $V_\infty(A)$  est bien défini. La longueur  $\Delta_\infty(\partial A)$  est définie comme étant la longueur de n'importe quelle paramétrisation de  $\partial A$ . Une simple vérification montre que cette quantité ne dépend pas de la paramétrisation en question.

Cette équivalence détermine jusqu'à quel point la longueur du bord  $\Delta_\infty(\partial A)$  peut être petite par rapport au volume  $V_\infty(A)$ . En géométrie euclidienne, nous devrions comparer la longueur du bord et la racine carrée de l'air. Cependant les surfaces browniennes sont des objets fractals et l'exposant  $\frac{1}{4}$  encapsule leur caractère irrégulier.<sup>11</sup> L'équivalence (4) donne un critère simple pour compenser le rapport  $\Delta_\infty(\partial A)/V_\infty(A)^{1/4}$  afin d'obtenir des inégalités isopérimétriques qui ne soient pas dégénérées. En particulier, elle caractérise de manière optimale le profil isopérimétrique du plan brownien et précise quel devrait être celui des modèles discrets dans son bassin d'attraction, voir [12] pour des résultats directs dans le discret. Évoquons enfin que ce résultat peut aisément s'étendre au disque brownien de volume infini ainsi qu'à la sphère brownienne : il est par exemple possible d'utiliser la construction unifiée présentée dans la section précédente.

## Remerciements

Je remercie David Coupier pour sa lecture attentive et ses commentaires avisés.

## Références

- [1] Céline ABRAHAM et Jean-François LE GALL. « Excursion theory for Brownian motion indexed by the Brownian tree ». In : *J. Eur. Math. Soc.* 20.12 (2018), p. 2951-3016.
- [2] Erich BAUR, Grégory MIERMONT et Gourab RAY. « Classification of scaling limits of uniform quadrangulations with a boundary ». In : *Ann. Probab.* 47 (2019), p. 3397-3477.
- [3] Jérémie BETTINELLI et Grégory MIERMONT. « Compact Brownian surfaces II. Orientable surfaces ». In : <https://arxiv.org/abs/2212.12511> (2022).
- [4] Jérémie BOUTTIER, Philippe DI FRANCESCO et Emmanuel GUITTER. « Planar maps as labeled mobiles ». In : *Electron. J. Combin.* 11.1 (2004), Research Paper 69, 27 pp.
- [5] Guillaume CHAPUY, Michel MARCUS et Gilles SCHAEFFER. « A bijection for rooted maps on orientable surfaces ». In : *SIAM J. Discrete Math.* 23.3 (2009), p. 1587-1611.
- [6] Philippe CHASSAING et Gilles SCHAEFFER. « Random planar lattices and integrated superBrownian excursion ». In : *Probab. Theory Related Fields* 128.2 (2004), p. 161-212.

11. Cet exposant est relié à celui des diamètres de grandes quadrangulations aléatoires.

- [7] Nicolas CURIEN. « À quoi ressemble un planisphère vraiment aléatoire ? »  
In : *Images des maths* (2012).
- [8] Nicolas CURIEN et Jean-François LE GALL. « The Brownian plane ». In : *J. Theoret. Probab.* 27.4 (2014), p. 1249-1291.
- [9] François DAVID et al. « Liouville quantum gravity on the Riemann sphere ».  
In : *Communications in Mathematical Physics* 342(3) (2016), p. 869-907.
- [10] Jean-François GALL et Grégory MIERMONT. « Scaling limits of random trees and planar maps ». In : *Probability and Statistical Physics in Two and More Dimensions* 15 (2012), p. 155-211.
- [11] Jean-François Le GALL. « Brownian geometry : Takagi lectures ». In : *Japan. J. Math.* 14 (2019), p. 135-174.
- [12] Jean-François Le GALL et Thomas LEHÉRICY. « Separating cycles and isoperimetric inequalities in the uniform infinite planar quadrangulation ». In : *Ann. Probab.* 47 (2019), p. 1498-1540.
- [13] Jean-François Le GALL et Armand RIERA. « Growth-fragmentation processes in Brownian motion indexed by the Brownian tree ». In : *Ann. Probab.* 48 (2020), p. 1742-1784.
- [14] Jean-François LE GALL. « Uniqueness and universality of the Brownian Map ». In : *Ann. Probab.* 41 (2013), p. 2880-2960.
- [15] Jean-François LE GALL et Armand RIERA. « Spine representation for non-compact models of random geometry ». In : *Probab. Theory Related Fields* 181 (2021), p. 571-645.
- [16] Grégory MIERMONT. « Tessellations of random maps of arbitrary genus ». In : *Ann. Sci. Éc. Norm. Supér. (4)* 42.5 (2009), p. 725-781.
- [17] Grégory MIERMONT. « The Brownian map is the scaling limit of uniform random plane quadrangulations ». In : *Acta Math.* 210.2 (2013), p. 319-401.
- [18] Jason MILLER et Scott SHEFFIELD. « Liouville quantum gravity and the Brownian map I : The QLE  $(8/3, 0)$  metric ». In : *Invent. Math.* 219.1 (2020), p. 75-152.
- [19] Armand RIERA. « Isoperimetric inequalities in the Brownian map and the Brownian plane ». In : *Ann. Probab.* 50 (2022), p. 2013-2055.

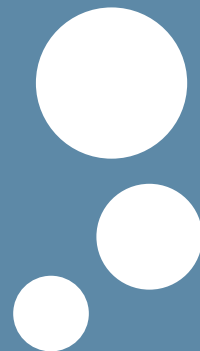
## Armand RIERA



Armand Riera a effectué sa thèse sous la direction de Jean-François Le Gall à l'université Paris Saclay. Il est maintenant maître de conférences à Sorbonne Université. Ses travaux portent sur l'étude des limites d'échelle de grands graphes aléatoires dessinés sur des surfaces.

**Email :** [riera@lpsm.paris](mailto:riera@lpsm.paris)

**Site web :** [perso.lpsm.paris/~riera/](http://perso.lpsm.paris/~riera/)



*par :*

*Cécile LOUCHET<sup>1</sup> – Université d'Orléans, Responsable  
de la rubrique « Résumés de thèse et HdR »*

*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 DIRI- GER DES RECHERCHE

► *Habilitation soutenue par : Marie BILLAUD-FRIESS*

---

**Contributions pour l'approximation et la réduction de modèle des  
équations aux dérivées partielles**

*Soutenue le 21 octobre 2022*

*Laboratoire Mathématiques Jean Leray*

---

### **Résumé :**

Ces dernières années les méthodes de réduction de modèles sont devenues incontournables pour la résolution d'équations aux dérivées partielles (EDP) paramétrées et/ou en grande dimension. Les travaux de recherche présentés dans le cadre de cette Habilitation à Diriger des Recherches concernent de récentes contributions dans ce domaine. Les méthodes proposées ont été

---

1. [cecile.louchet@univ-orleans.fr](mailto:cecile.louchet@univ-orleans.fr)

développées aussi bien dans un cadre déterministe que probabiliste. Dans un premier temps, nous nous intéressons à des méthodes d'approximation de faible rang dans un cadre déterministe. Ces approches peuvent être présentées selon les deux points de vue suivants : soient comme des méthodes d'approximation sous format de tenseur ou bien comme des approches basées sur des projections dans des espaces de petite dimension. Pour des applications en quantification d'incertitudes, nous proposons une méthode d'approximation sous format de tenseur, basée sur des formulations idéales en minimum de résidu pour des problèmes en grande dimension. Puis, des méthodes basées sur des projections pour l'approximation de quantités d'intérêt à valeur fonctionnelle ou vectorielle sont discutées. Par la suite, l'extension et la mise en œuvre de ces méthodes d'approximation de faible rang pour des problèmes paramétrés et dépendant du temps est considérée. En particulier, nous avons étudié des approches dites dynamiques de type bases réduites et d'approximation dans la variété des matrices de rang fixé. Dans un second temps, nous présentons des approches probabilistes pour l'approximation de la solution d'EDP (éventuellement dépendant de paramètres) en utilisant des estimations ponctuelles de la fonction recherchée. La clef de voûte des contributions présentées est le théorème de représentation de Feynman-Kac qui permet d'explicitier la solution d'une équation aux dérivées partielles, évaluée ponctuellement, comme l'espérance d'une fonctionnelle stochastique. Ainsi, une méthode probabiliste d'interpolation parcimonieuse a été proposée pour traiter des EDP en grande dimension. Par ailleurs, une méthode des bases réduites utilisant des estimations ponctuelles est discutée pour la résolution d'EDP paramétrées.

► *Habilitation soutenue par* : **Cyril MARZOUK**

---

### **A few aspects of large random maps**

*Soutenu le 1er décembre 2022*

*CMAP, École polytechnique*

---

#### **Résumé :**

Mes travaux après mon doctorat se sont principalement concentrés sur l'étude asymptotique de grandes cartes planaires aléatoires et notamment sur la recherche de comportements universels.



D'un point de vue intuitif, les cartes finies forment des modèles simples de géométrie aléatoire discrète. La première partie du manuscrit porte sur les limites d'échelle où, en faisant tendre le nombre de faces vers l'infini et, convenablement, leur taille vers 0, on peut obtenir à la limite des surfaces continues aléatoires. On sait depuis une dizaine d'années que les triangulations et quadrangulations aléatoires uniformes convergent ainsi en loi vers une même limite appelée carte ou sphère brownienne. Mes travaux ont consisté à démontrer la convergence d'autres modèles discrets vers cette limite, ainsi qu'à étudier d'autres limites possibles. Cette partie repose très fortement sur des bijections explicites qui permettent de voir une carte comme une paire de fonctions en temps discret, dont on cherche à montrer la convergence vers des processus stochastiques liés au mouvement brownien ou par exemple à des processus de Lévy.

La seconde partie porte sur les limites locales, sans remise à l'échelle, où les modèles limites sont cette fois toujours discrets mais infinis, et en un sens décrivent le comportement microscopique des surfaces continues précédentes. Dans ce cadre la convergence en loi de nombreux modèles discrets vers différentes limites était déjà connue et mes travaux consistent en l'étude des propriétés de ces graphes infinis aléatoires : périmètre et volume des boules, comportement d'un modèle de percolation, d'une marche au hasard, etc. Cette partie repose sur l'interprétation probabiliste de décompositions combinatoires qui permettent d'étudier les cartes aléatoires à travers des marches aléatoires conditionnées.

## THÈSES DE DOCTORAT D'UNIVERSITÉ

- ▶ *Thèse soutenue par* : Gilles BAREILLES
- ▶ *Sous la direction de* : Jérôme Malick (CNRS) et Franck Iutzeler (Université Grenoble Alpes).

---

**Newton methods for structured nonsmooth optimization**

*Soutenue le 2 décembre 2022*

*Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes*

---

**Résumé :**

In this thesis, we discuss the optimization of structured nonsmooth functions. Such functions appear in machine learning and signal processing and encompass e.g., low-complexity regression problems, such as lasso, and matrix optimization problems, with eigenvalues and the nuclear norm. We exploit the structure of these nonsmooth functions to build algorithms that converge fast – at the speed of Newton’s method, thus yielding high precision estimates of nonsmooth minimizers.

We consider successively functions that write as sums and compositions of smooth functions and simple nonsmooth functions. Their nondifferentiability points organize in smooth manifolds, such that the nonsmooth function is smooth along the manifold and nonsmooth across it. In both cases, we propose optimization algorithms that detect and exploit these structure manifolds. The two key ingredients in our approach are (i) subtle geometrical properties of the proximal operator, and (ii) algorithmic tools from smooth constrained programming. We operate without assuming knowledge of the optimal manifold, and use variational analysis tools to cover both convex and nonconvex settings. We provide numerical illustrations on classical problems.  
**Keywords** : Statistical learning, manifold identification.

► *Thèse soutenue par* : **Ryad Mohammed BELHAKEM**

► *Sous la direction de* : Vincent Rivoirard (université Paris Dauphine), Angelina Roche (université Paris Dauphine) et Franck Picard (ENS Lyon).

---

**Étude statistique de l’analyse en composantes principales  
fonctionnelle dans les cadres uni et multivarié**

*Soutenue le 10 juin 2022*

*CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

**Résumé :**

Ce travail est la concaténation de deux parties, ayant pour point commun de porter sur l’analyse de données fonctionnelle et en particulier de s’intéresser aux questions liées à la grande dimension dans ce contexte. La première partie concerne l’analyse en composante principale fonctionnelle dans le cas univarié. Notre approche vise à donner des résultats non-asymptotiques pour différents estimateurs de projection des éléments propres d’un opérateur de covariance. Nous définissons d’abord un estimateur basé sur un opérateur de

projection. Cet opérateur peut être vu comme une étape de reconstruction des données brutes dans le contexte de l'analyse des données fonctionnelles. Nous montrons que l'estimateur naïf, qui calcule les éléments propres sans régularisation après l'étape de projection, est optimal au sens minimax pour un bon choix de base. À cette fin, nous établissons à la fois une limite inférieure et supérieure sur l'erreur quadratique moyenne de reconstruction des éléments propres. Nous prouvons également des résultats généraux pour les bases générales de Lipschitz et de Daubechies qui n'atteignent pas les vitesses minimax. Dans le cas de Daubechies, un seuillage est nécessaire pour atteindre son taux optimal. Cette partie est conclue par des simulations numériques qui confirment l'acuité de l'approche et une application à des données génomique. La seconde partie concerne la généralisation du modèle au cas fonctionnelle multivarié. Comme en première partie notre approche vise à donner des résultats non-asymptotiques pour l'estimation de la première composante principale d'un processus aléatoire multivarié. Nous définissons d'abord la fonction de covariance et l'opérateur de covariance dans le cas multivarié. On définit alors un opérateur de projection. Cet opérateur peut être vu comme une étape de reconstruction à partir des données brutes dans le contexte d'analyse de données fonctionnelles. Ensuite, nous montrons que les éléments propres peuvent être exprimés comme la solution d'un problème d'optimisation, et nous introduisons la variante LASSO de ce problème d'optimisation et l'estimateur de plugin associé. Enfin, nous évaluons la précision de l'estimateur. Nous établissons une borne inférieure minimax sur l'erreur quadratique moyenne de reconstruction de l'élément propre, ce qui prouve que la procédure a une variance optimale au sens minimax.

► *Thèse soutenue par* : **Clément BERENFELD**

► *Sous la direction de* : Marc Hoffmann (université Paris Dauphine).

---

### **Inférence statistique sur des variétés inconnues**

*Soutenue le 20 septembre 2022*

*CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

#### **Résumé :**

En statistique, l'hypothèse des variétés suppose que les données observées se répartissent autour de structures de faible dimension, appelées variétés.

Ce postulat permet d'expliquer pourquoi les algorithmes d'apprentissage fonctionnent bien même sur des données en grande dimension, et est naturellement satisfait pour de nombreux jeux de données issus de la vie réelle. Nous présentons dans cette thèse quelques contributions aux problèmes d'estimation de deux quantités sous cette hypothèse : la densité de la distribution sous-jacente, et le reach de son support. Pour l'estimation du reach, nous élaborons des stratégies basées sur des invariants géométriques, avec d'une part la fonction de défaut de convexité, et d'autre part, des mesures de distortion métrique, desquels nous obtenons des vitesses de convergence optimales au sens minimax. Concernant l'estimation de la densité, nous proposons deux approches : l'une s'appuyant sur l'étude fréquentiste d'un estimateur à noyaux, et une approche bayésienne non-paramétrique se reposant sur des mélanges de gaussiennes. Nous montrons que ces deux méthodes sont optimales et adaptatives en la régularité de la densité. Enfin, nous examinons le comportement de certaines mesures de centralité dans des graphes aléatoires géométriques, l'étude duquel, bien que sans lien avec l'hypothèse des variétés, a des implications méthodologiques et théoriques qui peuvent être intéressantes dans tout cadre statistique.

► *Thèse soutenue par* : **Damien BLANC**

► *Sous la direction de* : Joseph Salmon (IMAG, Montpellier) et Benjamin Charlier (IMAG, Montpellier).

---

**Applications of artificial intelligence for the characterization of cancerous ovarian tissue by image analysis of centrosomes**

*Soutenue le 9 décembre 2022  
IMAG, Montpellier*

---

**Résumé :**

Cette thèse porte sur l'utilisation de méthodes automatiques basées sur l'intelligence artificielle dans différents contextes d'imagerie biomédicale. L'objectif principal est d'explorer dans quelle mesure des modèles d'apprentissage profond, ou Deep Learning (DL), peuvent s'implanter dans la résolution de problématiques cliniques concrètes. En particulier, nous mettons l'accent sur les modèles nommés Convolutional Neural Networks (CNNs) dont l'architecture est spécialement adaptée à la détection et à la segmentation d'objets sur

des données visuelles telles que les images ou les vidéos. Dans une première partie, nous abordons ainsi la nécessité de développer des systèmes d'aides au diagnostique dans le cadre d'examen tomодensitométrique (également appelé CT-scan) pour la détection de tumeurs pulmonaires. Nous étudions ainsi les performances de l'état de l'art des modèles de détection d'objet dans un contexte en trois dimensions sur un jeu de données de plus de 1000 patients disponibles publiquement. Les résultats obtenus sur cette première étude nous ont ensuite permis de construire un outil complet d'aide au diagnostique, capable de distinguer les patients sains de ceux disposant de tumeurs. Cet outil comprends trois procédures majeures (segmentation des poumons, détections des nodules, et classification du patient) qui a permis de remporté l'édition 2019 du Data Challenge organisé par la Société Française de Radiologie (SFR). Dans la seconde partie du manuscrit, nous nous plaçons cette fois dans un cadre où la donnée, élément essentiel pour construire un modèle supervisée robuste, n'est pas ou peu disponible. Nous retrouvons fréquemment cette configuration en imagerie microscopique, où il est nécessaire d'identifier correctement chaque composant cellulaire, comme le noyau, afin de pouvoir dégager un résultat biologique d'intérêt. En alternative à un étiquetage fastidieux et couteux des pixels de chaque noyau, nous proposons une modélisation de l'ensemble des mécanismes permettant l'acquisition d'images d'échantillons biologiques. Nous obtenons ainsi un outil capable de générer rapidement, à partir d'un ensemble de paramètres prédéfinis, une grande quantité de données composées d'images simulées et d'une vérité terrain associée pour chacune d'entre elles. Enfin, nous étudions l'impact de l'utilisation de jeu de données simulées sur les performances de modèles conçus pour la segmentation de noyaux. Nous montrons ainsi qu'avec une quantité relativement faible d'image réelle, la simulation peut être utilisé comme outil d'augmentation de données et permet un gain important de performances. Enfin, la dernière partie de ce manuscrit est consacrée à l'élaboration d'une méthodologie pour la quantification de tissus ovariens cancéreux en imagerie microscopique confocale 3D. A partir d'une cohorte de 119 patientes, l'objectif principal est d'automatiser la quantification du Centrosome-Nucleus Index (CNI), et permettre ainsi de mieux comprendre le rôle que jouent les principaux organes de la cellule (dans notre contexte, le noyau et les centrosomes) dans l'évolution de la maladie. L'étude est ainsi divisée en deux tâches de comptages : d'abord des centrosomes, puis des noyaux. Le comptage visuel qui a été fait pour les centrosomes se base sur la recherche de régions colocalisées dans l'image, c'est-à-dire, des

régions dont les signaux issus de différents canaux se superposent. Nous implémentons ainsi cette approche, et comparons ces performances avec des méthodes impliquant des modèles de Machine Learning ou Deep Learning. En- fin, ne disposant pas d'annotations au niveau des voxels, nous étendons notre simulateur à une troisième dimensions, et implémentons un approche d'apprentissage par renforce- ment afin de trouver automatiquement les paramètres de simulations permettant de donner la plus grande précision possible de comptage.

► *Thèse soutenue par* : **Guillaume BOTTAZ-BOSSON**

► *Sous la direction de* : Adeline Leclercq-Samson et Sébastien Bailly (Université Grenoble Alpes).

---

### **Classification de trajectoires d'observance de patients atteints d'un syndrome d'apnées obstructives du sommeil**

*Soutenu le 14 novembre 2022*

*Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes*

---

#### **Résumé :**

Le syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) est une pathologie à forte prévalence en France. Le SAOS est associé à des comorbidités cardiovasculaires comme l'hypertension artérielle ou l'accident vasculaire cérébral. Le traitement de référence dans les cas les plus sévères est la ventilation en pression positive continue (PPC). La thérapie rencontre des problèmes d'observance et d'abandons, et certains effets potentiels sont à ce jour controversés. Les cliniciens ont besoin de comprendre et caractériser les comportements d'observance. Le télésuivi de la PPC rend disponibles les durées de traitement quotidiennes des patients.

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire vise à identifier des comportements typiques d'observance à partir des données de télésuivi. Nous utilisons une approche de classification non supervisée de séries chronologiques.

Premièrement il convient de délimiter les séquences individuelles de données quotidiennes d'observance à partir des données du télésuivi. Les données sont produites par les appareils de PPC et peuvent transiter par les fabricants des machines et par les prestataires de soins à domicile (PSAD). Elles sont

sujettes à contenir des biais lorsqu'elles parviennent aux cliniciens. Nous proposons des recommandations pour la production de séries chronologiques exhaustives et fidèles aux comportements d'observance des patients. Puis nous discutons de la pertinence et de la représentativité des données fournies par un PSAD pour prévenir de potentielles mauvaises utilisations.

Ensuite nous réalisons la classification non supervisée des séries temporelles d'observance. Elles sont caractérisées par des variabilités et des discontinuités dues aux jours de non utilisation de la PPC. Nous souhaitons que les clusters tiennent compte des niveaux d'observance, des variabilités et discontinuités des trajectoires, et que des individus abandonnant la thérapie soient réunis peu importe la date d'abandon. Nous mettons en avant l'intérêt de la dissimilarité du dynamic time warping (DTW) pour classer les trajectoires dans le contexte clinique. En particulier dans le cadre de la classification ascendante hiérarchique, le critère de Ward et l'indice de Dunn fournissent des résultats pertinents.

Enfin, il faut permettre aux cliniciens d'interpréter les clusters. La superposition et la juxtaposition des courbes d'un cluster sont inexploitable à cause du nombre de trajectoires et de leurs variabilités et discontinuités. Nous suggérons de diversifier les représentations graphiques afin de mettre en évidence les composantes comportementales communes d'un cluster ainsi que l'hétérogénéité des comportements. Les graphiques que nous proposons sont illustrés avec des clusters de données réelles. Une application web est en cours de développement pour permettre aux cliniciens de réaliser ces graphiques et de les personnaliser.

**Mots-clés :** Dynamic time warping, qualité des données, visualisation de données, PPC, SAOS

► *Thèse soutenue par :* **Jeanne BOURSIER**

► *Sous la direction de :* Djalil Chafaï (université Paris Dauphine) et Sylvia Serfaty (Courant Institute et Sorbonne Université).

---

### **Quelques problèmes de mécanique statistique pour les gaz de Coulomb et de Riesz**

*Soutenue le 29 novembre 2022  
CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

**Résumé :**

Cette thèse se propose d'étudier divers problèmes de mécanique statistique pour une famille de systèmes de particules en interaction, appelés gaz de Coulomb et de Riesz. Nous commençons par examiner le temps de mélange du mouvement Brownien de Dyson avec confinement quadratique, dont la mesure invariante est donnée par le beta-ensemble d'Hermite. Nous établissons un résultat de cutoff pour le temps de mélange du système dans une variété de distances et de divergences, lorsque le nombre de particules tend vers l'infini. Nous considérons ensuite les fluctuations et corrélations du gaz de Riesz circulaire dans le régime longue portée. Tout d'abord, nous quantifions les fluctuations des espacements entre particules et énonçons un théorème central limite pour les statistiques linéaires valables pour des fonctions-tests possiblement très singulières. Puis nous montrons une estimée optimale sur la décroissance de la corrélation des gaps, qui nous permet de montrer l'unicité du processus limite en volume infini. La suite de ce manuscrit est consacrée à l'étude du gaz de Coulomb bi-dimensionnel à deux composantes dans un régime de basse température où la fonction de partition diverge. Après avoir proposé une renormalisation efficace du modèle, nous donnons un développement asymptotique de la fonction de partition lorsque le paramètre de troncature tend vers zéro, des estimées sur le nombre et la taille de dipôles neutres ainsi qu'un contrôle énergétique sur les fluctuations.

► *Thèse soutenue par* : **Aubin BRUNEL**

► *Sous la direction de* : Raphaële Herbin (Aix-Marseille université), Jean-Claude Latché (IRSN Cadarache).

---

**Schémas à mailles décalées sur maillages généraux pour les écoulements incompressibles et compressibles**

*Soutenue le 12 décembre 2022*

*Aix-Marseille université*

---

**Résumé :**

Les équations classiques de la mécanique des fluides, comme les équations de Navier-Stokes ou les équations d'Euler, permettent de décrire différents types d'écoulements observés dans de nombreux phénomènes, comme par exemple les incendies dans des locaux confinés et ventilés mécaniquement ou les déflagrations turbulentes, qui sont étudiées au sein du Laboratoire



de l'Incendie et des Explosions de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. L'objectif de cette thèse est d'améliorer les schémas numériques à mailles décalés utilisés pour la simulation de ce type de problèmes, et de les étendre à des maillages très généraux, tout en garantissant leur validité pour différents régimes d'écoulement (incompressibles ou compressibles). Une attention particulière est portée sur les opérateurs de convection et de diffusion de l'équation de quantité de mouvement dont la discrétisation est développée de façon à être valable pour différents types de mailles, et notamment des mailles tridimensionnelles comme des mailles prismatiques ou pyramidales.

L'opérateur discret de convection de la quantité de mouvement est un opérateur de type volumes finis et se base sur la construction de vitesses interpolées aux interfaces ainsi que sur la construction de flux discrets. Un schéma de type MUSCL algébrique est utilisé pour l'interpolation des vitesses aux faces, qui permet de monter en ordre par rapport au schéma décentré amont classique, tout en garantissant sa stabilité sous certaines conditions. Cet opérateur se base sur des contraintes de stabilité algébriques et non pas géométriques, contrairement au schéma MUSCL originel, ce qui lui permet d'être facilement transposable à des mailles générales. Par ailleurs, les flux discrets pour cet opérateur sont construits à partir des flux de l'opérateur discret de convection de l'équation du bilan de masse. Cette discrétisation, basée sur des conditions de stabilité purement algébriques, dépend de la nature du polygone ou du polyèdre de la maille considérée, mais pas de leur géométrie, ce qui la rend flexible par rapport à la distorsion ou l'anisotropie du maillage. Pour autant, cette méthode permet d'aboutir à une discrétisation consistante de l'opérateur de convection.

Enfin, l'opérateur discret de diffusion est basé sur une méthode d'éléments finis non-paramétrique. Nous montrons qu'il est possible de généraliser des éléments classiques tels que l'élément de Crouzeix-Raviart ou l'élément de Rannacher-Turek à des mailles générales. Cette généralisation donne des opérateurs discrets inf-sup stables, et permet de retrouver des ordres de convergence optimaux sur des maillages complexes du fait de sa nature non-paramétrique.

► *Thèse soutenue par* : **Océane CASSAN**

► *Sous la direction de* : Sophie Lèbre (IMAG, Montpellier) et Antoine Martin

(CNRS, IPSIM, Montpellier).

---

**Inférence statistique des réseaux de régulation de gènes chez  
Arabidopsis thaliana en réponse à l'élévation des teneurs en CO<sub>2</sub>  
atmosphériques**

*Soutenue le 13 décembre 2022*

*IPSIM, Montpellier*

---

**Résumé :**

L'activité humaine provoque une élévation des niveaux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, qui devraient passer de 420 ppm à environ 1000 ppm d'ici la fin du siècle. Les plantes en C<sub>3</sub>, qui constituent une grande partie des plantes cultivées, sont particulièrement touchées par l'augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub>. Bien que l'on s'attende à une stimulation de la production de biomasse dans des conditions de CO<sub>2</sub> élevé (eCO<sub>2</sub>), ce gain s'accompagne d'un appauvrissement marqué de la composition minérale des plantes et d'une diminution particulièrement forte de leur teneur en azote (N). Cela constitue une menace majeure pour la nutrition humaine, que nous proposons de commencer à traiter par des approches de biologie des systèmes. Les hypothèses prometteuses pour expliquer ce déclin invoquent une perturbation des voies de signalisation associées à l'absorption et à l'assimilation de l'azote, ce qui motive l'étude à l'échelle génomique de la reprogrammation de l'expression des gènes dans les racines de la plante modèle *Arabidopsis thaliana* sous eCO<sub>2</sub>. Pour découvrir les régulateurs encore inconnus qui orchestrent ces réseaux, nous avons développé des méthodes statistiques pour l'inférence des réseaux de régulation de gènes (GRN). La modélisation des dépendances transcriptionnelles à partir de données d'expression peut être effectuée par des techniques basées sur la régression, une tâche difficile entravée par le phénomène de grande dimension et par le manque de données de validation. Nous proposons deux nouvelles approches : (i) l'extension d'une méthode basée sur les forêts aléatoires, GENIE<sub>3</sub>, via une procédure par permutations évaluant la significativité des interactions de régulation que nous incluons dans une suite complète pour l'inférence de GRN (DIANE), et (ii) deux méthodes d'inférence de GRN intégratives basées sur les forêts aléatoires et sur la régression linéaire sparse avec sélection de stabilité, intégrant les sites de fixation des facteurs de transcription (TFBS) aux données d'expression. Nous comparons ces méthodes à des gold-standards expérimentaux et montrons qu'elles améliorent la pertinence biologique des GRNs inférés

chez *Arabidopsis thaliana*. Nous avons appliqué ces approches d'inférence à un jeu de données transcriptomiques combinatoires de tissus racinaires dans des conditions contrastées en niveaux de CO<sub>2</sub> en apports nutritionnels, et aux racines de plantes exposées à un gradient de concentrations de CO<sub>2</sub>. Les GRNs inférés ont fourni des gènes candidats pour le contrôle de cette réponse, et nous démontrons que certains d'entre eux régulent la stimulation de la croissance sous eCO<sub>2</sub> sans pénaliser la teneur en nutriments des parties aériennes. Globalement, nos résultats indiquent que les gènes clés de la nutrition en nitrate et en fer et leurs régulateurs connus sont dérégulés par l'augmentation du CO<sub>2</sub>, et que les voies associées aux systèmes de transport de nitrate à haute affinité sont particulièrement altérées. Le dernier objectif de ce travail était de tirer parti de la variabilité génétique naturelle pour identifier les gènes contrôlant la réponse du ionome à l'élévation du CO<sub>2</sub>. Nous avons confirmé une baisse du contenu minéral dans trois populations d'*Arabidopsis* à différentes échelles géographiques, et montré que la variabilité de cette réponse peut être expliquée par des déterminants génétiques dans le panel mondial via des modèles linéaires mixtes. Nous avons mis en avant un autre ensemble de gènes candidats, fortement associés à l'appauvrissement en fer, N et zinc dans les pousses sous eCO<sub>2</sub>, qui ouvrent la voie à la conception de plantes à valeur nutritionnelle préservée pour le futur proche.

► *Thèse soutenue par* : **Jean CAZALIS**

► *Sous la direction de* : Mathieu Lewin (université Paris Dauphine)

---

### **Systèmes quantiques non linéaires en dissociation : l'exemple du graphène**

*Soutenue le 1er juillet 2022  
CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse porte sur l'étude mathématique des propriétés électroniques de la matière. Les systèmes, moléculaires ou cristallins, sont décrits à l'aide de modèles non linéaires issus de la mécanique quantique. On considère alors le régime de dissociation, c'est-à-dire lorsque les distances entre les noyaux sont grandes. Dans le Chapitre 1, on étudie le modèle de Hartree

diatomique, en dimension deux ou trois, et on quantifie précisément l'effet tunnel entre les deux premiers modes propres. Dans le Chapitre 2, on montre que si une condition de non-dégénérescence est vérifiée alors le modèle de Hartree-Fock réduit du graphène présente des singularités coniques, appelées points de Dirac. De plus, on prouve que le niveau de Fermi coïncide avec le niveau d'énergie de ces cônes. Pour cela, on dérive certaines conditions sous lesquelles les relations de dispersion d'un opérateur de Schrödinger périodique sont données, au premier ordre et dans le régime de dissociation, par le modèle de liaison forte correspondant.

► *Thèse soutenue par* : **Julien CHAPELAT**

► *Sous la direction de* : Élie Bretin (INSA Lyon, ICJ), Yves Renard (INSA Lyon, ICJ).

---

**Optimisation de forme multi-critère d'une structure non-linéaire complexe**

*Soutenu le 16 décembre 2022  
INSA Lyon, LaMCoS, UCBL*

---

**Résumé :**

Les pneumatiques sans air sont des structures complexes dont le comportement fait intervenir différentes physiques. Afin de proposer une conception performante, la géométrie d'un pneumatique sans air et les matériaux qui composent une telle structure font l'objet de choix de recherche rigoureux. Différentes innovations ont marqué l'histoire du pneumatique, et ce à différentes échelles : de l'échelle microscopique concernant l'adhérence et la réponse thermique de la bande de roulement à une échelle macroscopique concernant la réponse vibratoire et mécanique de la structure. A cette dernière macro-échelle, les concepteurs ont particulièrement étudié la réponse élastique du pneumatique sans air pour guider au mieux le véhicule le long de sa trajectoire. Différents outils de conception existent afin d'obtenir le meilleur compromis de performances, et en particulier, des stratégies d'optimisation de forme.

Dans notre cas particulier, nous développons l'optimisation de forme dite géométrique dans le contexte de l'élasticité. Nous proposons une méthode de gradient afin de minimiser des critères de performance. Cependant, différents

aspects peuvent faire rendre l'optimisation difficile comme par exemple des non linéarités. Nous développons la complexité liée à la condition de contact entre le pneumatique sans air et le sol. En effet, cette condition introduit une non linéarité dans le problème mécanique. Le contact est approximé par la méthode de Nitsche, méthode consistante et qui ne nécessite pas l'ajout de multiplicateurs de Lagrange. Ainsi, nous étudions l'optimisation de forme géométrique à travers une formulation du problème élastique utilisant la méthode de Nitsche. La condition de contact introduit également une non différentiabilité au sens classique dans le problème d'optimisation. Une notion plus faible de la différentiabilité permet d'assurer la formulation de dérivées de forme des critères d'optimisation, et ainsi d'assurer le bon fonctionnement de la méthode de gradient. Par ailleurs, le pneumatique sans air est largement sollicité en grandes déformations, ce qui introduit de nouvelles non linéarités. Ainsi la stratégie d'optimisation de forme est présentée d'abord dans le cadre de l'élasticité linéaire afin de présenter les outils mis en place et d'analyser la sensibilité de forme permettant d'assurer l'existence de dérivées de forme. Ensuite l'étude de forme est étendue aux grandes déformations pour traiter des applications plus réalistes.

► *Thèse soutenue par* : **Simon CLÉMENT**

► *Sous la direction de* : Éric Blayo (Université Grenoble Alpes) et Florian Lemarié (INRIA)

---

### **Analyse numérique pour la réconciliation en espace et en temps des discrétisations des échanges air-mer et de leur paramétrisation**

*Soutenue le 23 novembre 2022*

*Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes*

---

#### **Résumé :**

Les modèles numériques de prévision de l'océan et de l'atmosphère sont essentiels pour la compréhension des phénomènes géophysiques qui y sont liés. Le couplage de ces modèles dans les simulations joue un rôle clé pour une large gamme d'échelles temporelles (cycle diurne, cyclone tropicaux, climat...) où il est nécessaire de représenter les interactions entre l'océan et l'atmosphère.

L'implémentation du couplage est généralement réalisée de manière partielle

et introduit une erreur numérique qu'il convient de minimiser. Dans ce but, des méthodes de couplage itératives et leur vitesse de convergence sont considérées ici, les pratiques actuelles étant souvent équivalentes à une seule itération.

Une difficulté dans l'analyse mathématique de la convergence des méthodes de couplage est la présence d'une couche limite de surface entre l'océan et l'atmosphère. Cette spécificité justifie d'étudier la convergence au niveau discret (c'est-à-dire en prenant en compte certains choix d'implémentation) plutôt que continu.

Par ailleurs, les paramétrisations de la couche limite de surface s'appuient sur des hypothèses qui ne sont pas mathématiquement imposées au sein des modèles. Cette thèse propose de renforcer la cohérence entre le calcul des flux turbulents intervenant dans la couche limite et les discrétisations des équations décrivant l'océan et l'atmosphère. L'analyse de la couche limite de surface au sein du couplage océan-atmosphère est réalisée ici en utilisant une hiérarchie de modèles permettant à la fois d'obtenir des résultats mathématiques et de reproduire des comportements numériques d'intérêt.

► *Thèse soutenue par* : **Chayma DAAYEB**

► *Sous la direction de* : Ali Gannoun (IMAG, Montpellier) et Christophe Crambes (IMAG, Montpellier).

---

### **Modèles linéaires fonctionnels avec des données partiellement observées**

*Soutenue le 1er décembre 2022*

*IMAG, Montpellier*

---

#### **Résumé :**

Le traitement des données manquantes est un problème important dans le processus d'observation ou d'enregistrement des données. L'objectif de ce travail est l'étude du modèle linéaire fonctionnel avec sortie réelle ou fonctionnelle lorsque les variables sont partiellement observées. Nous utilisons un opérateur de reconstruction des courbes explicatives avant d'imputer la variable réponse par différentes méthodes (imputation déterministe et imputation multiple dans le cas d'une réponse réelle, opérateur de reconstruction et imputation déterministe dans le cas d'une réponse fonctionnelle).

Le comportement asymptotique de l'erreur quadratique moyenne de prédiction est étudié, ainsi que le comportement de la méthode en pratique sur des données simulées et réelles.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Samuel DAUDIN**
- ▶ *Sous la direction de* : Pierre Cardialaguet (université Paris Dauphine).

---

### **Contrôle stochastique avec contrainte en loi**

*Soutenue le 13 janvier 2023*  
 CEREMADE, Université Paris Dauphine

---

#### **Résumé :**

On étudie des problèmes de contrôle stochastique de type champ-moyen avec des contraintes sur la loi du processus. Le but est de caractériser les stratégies optimales grâce à un système couplé d'équations aux dérivées partielles qui est celui de la théorie des jeux à champ-moyen. On étudie tout d'abord un problème avec contrainte terminale puis un problème avec contrainte à chaque instant. Pour ce second problème on étudie la régularité en temps des contrôles optimaux sous des conditions géométriques sur la contrainte. On montre également comment ce problème apparaît comme limite de problèmes de contrôle où un grand nombre d'agents sont soumis à des contraintes symétriques et presque-sûres. Dans une dernière partie, on étudie quantitativement, en obtenant un taux de convergence, la limite champ-moyen pour des problèmes de contrôle stochastique sans contrainte.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Laetitia DELLA MAESTRA**
- ▶ *Sous la direction de* : Marc Hoffmann (université Paris Dauphine).

---

### **Estimation statistique pour les dynamiques collectives**

*Soutenue le 30 novembre 2022*  
 CEREMADE, Université Paris Dauphine

---

#### **Résumé :**

Dans un premier temps, nous étudions le problème de l'estimation non-

paramétrique de la densité solution d'une équation de type McKean-Vlasov, ainsi que la reconstruction du coefficient de drift présent dans l'équation, à l'aide de particules en interaction, approchant la solution en limite de champ moyen. Dans un second temps, nous étudions le problème de l'estimation paramétrique du drift en observant continûment le système de particules en interaction. Nous obtenons une propriété de type LAN uniforme et l'optimalité de l'estimateur du maximum de vraisemblance.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Valéry DEWIL**
- ▶ *Sous la direction de* : Gabriele Facciolo et Pablo Arias (ENS Paris-Saclay).

---

### **Débruitage et dématricage concret de vidéos avec des réseaux de neurones**

*Soutenue le 5 décembre 2022  
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay*

---

#### **Résumé :**

Le débruitage est une tâche fondamentale du traitement d'images. Il y a deux catégories de méthodes de débruitage : les méthodes traditionnelles basées sur des modélisations et celles basées sur l'apprentissage d'un réseau de neurones. Les méthodes traditionnelles requièrent un modèle explicite du bruit. Inversement les méthodes basées sur l'apprentissage peuvent être entraînées pour n'importe quel type de bruit et sont très performantes.

Nous nous intéressons au cas des méthodes de débruitage basées sur l'apprentissage. L'approche traditionnelle consiste à utiliser des réseaux de neurones convolutionnels entraînés sous supervision. Les récentes techniques auto-supervisées atteignent des résultats légèrement inférieurs mais tout de même compétitifs avec ceux obtenus par les approches supervisées et ne s'appuient pas sur la supervision d'une vérité-terrain. Elles sont de bonnes candidates pour le débruitage de vidéos réelles. Nous proposons la première méthode auto-supervisée pour entraîner des réseaux de neurones de débruitage vidéo. Cette méthode, appelée MF2F peut être utilisée pour adapter n'importe quel réseau de neurones de débruitage pour débruiter une grande collection de types de bruit. MF2F repose sur un ajustage fin des paramètres d'un réseau de neurones de débruitage initialement pré-entraîné. Sur des vidéos bruitées à bruit réel, elle a donné des résultats extrêmement prometteurs puisqu'elle



était devenue le nouvel état de l'art au moment de la publication.

À ce stade, nous pouvons faire deux observations : (1) Les CNNs peuvent être entraînés avec les entraînements supervisés et auto-supervisés. Le dernier est dominé par le premier et (2) les expériences menées avec notre méthode auto-supervisée MF2F montrent que cette dernière est très propice au débruitage de données réelles. Partant de ces deux constatations, quelle technique devons-nous utiliser pour entraîner un réseau de débruitage afin de débruiter des vidéos à bruit réel ? Nous répondons à cette question dans la deuxième partie de la thèse.

Avec le débruitage, le dématricage est une autre étape très importante de l'acquisition d'une image RGB. Elles sont traditionnellement effectuées séparément mais le mieux serait d'effectuer ces deux opérations en même temps. Dans la troisième partie de la thèse, nous considérons différentes architectures conduisant à la première méthode traitant le problème de débruitage et dématricage conjoint pour vidéo.

► *Thèse soutenue par* : **Katharina EICHINGER**

► *Sous la direction de* : Guillaume Carlier (université Paris Dauphine).

---

### **Problèmes variationnels pour l'interpolation dans l'espace de Wasserstein**

*Soutenue le 13 décembre 2022*  
*CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse étudie des problèmes variationnels comprenant plusieurs fonctionnelles de transport optimal. Un exemple populaire est le barycentre Wasserstein qui peut être vu en tant que moyenne dans l'espace de Wasserstein d'ordre 2. Depuis son introduction en 2011 de Agueh et Carlier, il est devenu très populaire en statistiques, machine learning et traitement des images. Bien que la consistance du barycentre Wasserstein soit désormais bien connue, une étude plus précise des taux de convergences nécessite encore une analyse supplémentaire. Nous faisons un pas dans cette direction en montrant un théorème centrale limite pour une version régularisée du barycentre Wasserstein qui a été introduite par Bigot, Cazelles et Papadakis en 2019. Même si le barycentre Wasserstein fournit déjà un bon estimateur

statistique, ce n'est pas toujours un estimateur robuste car son breakdown point est bas. Cela nous a motivé d'étudier la médiane Wasserstein, la solution du problème de minimisation des sommes des distances de Wasserstein d'ordre 1. En effet, le breakdown point de la médiane Wasserstein s'avère être plus grand. Cependant, des propriétés de régularité de cet estimateur sont plus subtiles. Néanmoins, nous fournissons une caractérisation détaillée et des estimations d'intégrabilité dans le cas où les mesures sont supportées sur la droite réelle. Dans le cadre général des espaces métriques, des formulations duales et multimarginales équivalentes sont présentées. Nous donnons aussi une caractérisation d'EDP des médianes Wasserstein sur des espaces euclidiens. Motivé par un contexte différent, pourtant donnant une classe similaire des problèmes d'optimisation, est le problème d'emplacement de stationnement optimal. Ceci consiste de trouver une mesure optimale sous des contraintes supplémentaires, comme l'emplacement ou une contrainte de capacité, entre deux mesures, prenant en compte des différents types de coûts de transport. Dans ce cadre, nous démontrons des propriétés de régularité pour plusieurs classes du coût de transport. Finalement, nous fournissons un algorithme numérique afin de simuler des distributions de stationnement optimal en introduisant un terme de régularisation entropique et en déduisant une variante du célèbre algorithme du Sinkhorn.

► *Thèse soutenue par* : **Julien GIBAUD**

► *Sous la direction de* : Catherine Trottier (IMAG, Montpellier) et Xavier Bry (IMAG, Montpellier).

---

### **Régression linéaire généralisée sur composantes supervisées pour la modélisation jointe des réponses**

*Soutenu le*  
*IMAG, Montpellier*

---

#### **Résumé :**

Dans cette thèse, une matrice réponse est supposée dépendre d'un ensemble de variables explicatives et d'un ensemble de covariables additionnelles. Les variables explicatives sont supposées nombreuses et redondantes, demandant ainsi réduction de dimension et régularisation. Au contraire, les covariables additionnelles contiennent quelques variables sélectionnées qui

sont forcées dans le modèle de régression sans subir de régularisation. À l'origine, la Régression Linéaire Généralisée sur Composantes Supervisées (SCGLR) et son extension au multi-tableaux, THEME-SCGLR, sont créés pour extraire dans les variables explicatives plusieurs composantes conjointement supervisées par l'ensemble des réponses. Cependant, cette méthodologie a toujours des limitations que nous proposons de surpasser dans cette thèse. La première limitation vient de l'hypothèse que toutes les réponses sont prédites par le même espace explicatif. Cependant, dans de nombreuses situations pratiques, il est peu probable que de grands ensembles de réponses dépendent exactement des mêmes dimensions explicatives. Comme deuxième limitation, les précédents travaux impliquant SCGLR supposent que les réponses sont indépendantes conditionnellement aux variables explicatives. Encore une fois, cela est peu probable dans la pratique, spécialement dans des situations telles que l'écologie où une part non-négligeable des variables explicatives ne peuvent pas être mesurées. Pour surpasser la première limitation, nous supposons que les réponses sont partitionnées en plusieurs groupes inconnus. Nous supposons que les réponses dans chaque groupe sont prédites par un nombre approprié de composantes supervisées orthogonales spécifiques dans les variables explicatives. Nous développons une extension de SCGLR basée sur un modèle de mélange fini des réponses. Le deuxième travail relâche l'hypothèse d'indépendance conditionnelle. Comme pour THEME-SCGLR, la matrice réponse est modélisée par un partitionnement thématique des variables explicatives, nommés "thèmes". Ainsi, la régularisation est effectuée afin de chercher, dans chacun des thèmes, un nombre approprié de composantes qui contribuent à la fois à la prédiction de la matrice réponse et à la capture d'informations pertinentes des thèmes. Un ensemble de quelques facteurs latents modélise la covariance "résiduelle" des réponses conditionnellement aux composantes. Les approches présentées dans ce travail sont testées sur de nombreux schémas de simulation et ensuite appliquées à des jeux de données issus de l'écologie.

► *Thèse soutenue par* : **Ali HAIDAR**

► *Sous la direction de* : Fabien Marche (IMAG, Montpellier) et François Vilar (IMAG, Montpellier).

---

## Numerical simulation of nonlinear shallow-water interactions between surface waves and a floating structure

*Soutenue le 2 décembre 2022*

*IMAG, Montpellier*

---

### Résumé :

Dans cette Thèse de Doctorat, nous nous intéressons à deux problématiques : (i) le développement de stratégies de stabilisation pour des méthodes de type discontinuous Galerkin (DG) appliquées à des écoulements shallow-water fortement non-linéaires, (ii) le développement d'une stratégie de modélisation et de simulation numérique des interactions non-linéaires entre les vagues et un objet flottant en surface, partiellement immergé. Les outils développés dans le cadre du premier axe de travail sont mis à profit et valorisés au cours de la deuxième partie.

Les méthodes de discrétisation de type DG d'ordre élevé présentent en général des problèmes de robustesse en présence de singularités de la solution. Ces singularités peuvent être de plusieurs natures : discontinuité de la solution, discontinuité du gradient ou encore violation de la positivité de la hauteur d'eau pour des écoulements à surface libre. Nous introduisons dans la première partie de ce manuscrit deux approches de type Finite-Volume Subcells permettant d'apporter une réponse à ces problèmes de robustesse. La première approche repose sur une correction a priori du schéma DG associée à un limiteur TVB et un limiteur de positivité. La seconde approche s'appuie quant à elle sur une correction a posteriori permettant d'identifier avec une meilleure précision les cellules incriminées, ainsi que sur les propriétés de robustesse inhérentes au schéma Volumes-Finis limite d'ordre un. Cette seconde approche permet d'assurer la robustesse du schéma DG initial en présence de discontinuité, ainsi que la positivité de la hauteur d'eau, tout en préservant une excellente qualité d'approximation, bénéficiant d'une résolution de l'ordre de la sous-maille. De façon préliminaire, cette seconde approche est également étendue au cas de la dimension deux d'espace horizontal. De nombreux cas-test permettent de valider cette approche.

Dans la seconde partie, nous introduisons une nouvelle stratégie numérique conçue pour la modélisation et la simulation des interactions non linéaires entre les vagues en eau peu profonde et un objet flottant partiellement immergé. Au niveau continu, l'écoulement situé dans le domaine extérieur est globalement modélisé par les équations hyperboliques non-linéaires de Saint-Venant, tandis que la description de l'écoulement sous l'objet se réduit à une

équation différentielle ordinaire non linéaire. Le couplage entre l'écoulement et l'objet est formulé comme un problème au bord, associé au calcul de l'évolution temporelle de la position des points d'interface air-eau-objet. Au niveau discret, la formulation proposée s'appuie sur une approximation DG d'ordre arbitraire, stabilisée à l'aide de la méthode de correction locale des sous-cellules (a posteriori) introduite dans la première partie. L'évolution temporelle de l'interface air-eau-objet est calculée à partir d'une description Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) et d'une transformation appropriée entre la configuration initiale et celle dépendant du temps. Pour n'importe quel ordre d'approximation polynomiale, l'algorithme résultant est capable de : (1) préserver la loi de conservation géométrique discrète (DGCL), (2) garantir la préservation de la positivité de la hauteur d'eau au niveau des sous-cellules, (3) préserver la classe des états stationnaires au repos (well-balancing), éventuellement en présence d'un objet partiellement immergé. Plusieurs validations numériques sont présentées, montrant le caractère opératoire de cette approche, et mettant en évidence que le modèle numérique proposé : (1) permet effectivement de modéliser les différents types d'interactions vague / objet flottants, (2) calcul efficacement l'évolution temporelle des points de contact air-eau-objet et redéfinit en conséquence le nouveau maillage grâce à la méthode ALE (3) gère avec précision et robustesse les possibles singularités de l'écoulement, (4) préserve la haute résolution des schémas DG au niveau des sous-cellules.

► *Thèse soutenue par* : **Marien HANOT**

► *Sous la direction de* : Pascal Azerad (IMAG, Montpellier).

---

### **Complexes discrets pour les fluides incompressibles**

*Soutenue le 9 décembre 2022*

*IMAG, Montpellier*

---

#### **Résumé :**

Les complexes différentiels discrets ont récemment attiré l'attention des numériciens en raison des nombreux avantages qu'ils offrent pour la discrétisation des équations aux dérivées partielles. Ils sont particulièrement intéressants pour la création de méthodes préservant la structure telle que par exemple la divergence nulle des solutions discrètes. Dans cette thèse, nous explorons les possibilités d'application de ces complexes aux fluides

incompressibles. Nous nous sommes d'abord concentrés sur le complexe de De Rham avec régularité minimale. Bien que très utilisé pour traiter de l'électromagnétisme, il n'a été que très rarement considéré pour les fluides. Nous avons étudié diverses façons d'utiliser ce complexe en mécanique des fluides incompressibles. Nous construisons un schéma pour les équations de Navier-Stokes et l'analysons en démontrant des résultats de convergence, des estimations d'erreur et surtout la préservation de la structure avec une conservation exacte de certaines quantités. La régularité minimale impose cependant des restrictions, et en particulier limite les conditions au bord applicables. Afin de pallier ce problème, nous proposons une discrétisation du complexe de Stokes, autre complexe de régularité plus élevée et mieux adaptée aux équations de Stokes ou Navier-Stokes. Ce dernier complexe repose sur une méthode hybride et entièrement discrète ce qui permet, en plus de profiter des propriétés de complexe, d'utiliser n'importe quel maillage polyédrique (pas forcément conforme ni simplicial).

► *Thèse soutenue par* : **Corentin HOUPERT**

► *Sous la direction de* : Josselin Garnier (École Polytechnique), Philippe Humbert (CEA DAM).

---

### **Problème inverse pour la neutronique aléatoire**

*Soutenue le 8 décembre 2022*

*CMAF, École Polytechnique*

---

#### **Résumé :**

La détection et la caractérisation de la matière fissile sont des questions cruciales, notamment en matière de sûreté nucléaire, de garanties, de comptabilité de la matière et de mesures de réactivité. Dans ce contexte, nous voulons identifier une source de matière fissile en connaissant des mesures externes telles que les instants de détection pendant un intervalle de mesure donné. Ainsi, on observe les instants de détection des neutrons émis par la matière fissile et traversant le détecteur, puis on calcule les moments de la distribution empirique du nombre de neutrons détectés durant une porte temporelle  $T$ . Afin d'identifier la source, on doit obtenir les paramètres suivants : le facteur de multiplication  $k_{eff}$  du système, l'intensité de la source  $S$ , l'efficacité de détection  $\varepsilon_C$ . Compte tenu des paramètres de la source, il

existe des modèles qui permettent de prédire les moments du nombre compté de neutrons pendant un temps  $T$ . Nous considérons un modèle ponctuel dans lequel les neutrons monocinétiques se déplacent dans un milieu infini, isotrope et homogène. La méthode permet de calculer les moments de la distribution du nombre compté : les physiciens prennent généralement en compte les trois premiers moments (car les moments d'ordre supérieur à quatre sont trop bruités). Ensuite, étant donné les moments du nombre de neutrons comptés pendant un temps  $T$ , nous voulons obtenir les paramètres de la source fissile. Pour atteindre ce but, nous allons utiliser une approche bayésienne afin d'obtenir la distribution des paramètres. Cette distribution n'est pas triviale, les échantillons peuvent être obtenus avec des méthodes de Monte-Carlo par chaîne de Markov avec matrice d'adaptation de covariance (MCMC avec CMA). Après une étude de cas, et une analyse des formules des moments dans différents régimes de fonctionnement du système, nous utiliserons les mesures pour deux tailles de fenêtre différentes  $T_1$  et  $T_2$ .

► *Thèse soutenue par* : **Safa LADGHAM**

► *Sous la direction de* : Anne Estrade et Raphaël Lachièze-Rey (université Paris Cité).

---

### **Propriétés géométriques des points critiques d'un champ gaussien**

*Soutenue le 15 décembre 2022*

*MAP5, Université Paris Cité*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse a pour sujet l'étude des propriétés géométriques des points critiques d'un champ gaussien régulier limité à un domaine borné du plan et de la sphère. Nous nous intéressons à deux sujets classiques.

Le premier sujet traite les propriétés de répulsion locale du processus stationnaire formé par les points critiques d'un champ gaussien isotrope stationnaire régulier dans une petite boule dans le plan. À l'aide de la formule de Kac-Rice, nous calculons le facteur de répulsion local qui est la limite du rapport entre le moment factoriel d'ordre deux et le carré de l'espérance, quand le rayon de la boule tend vers 0. Et nous montrons que selon la fonction de covariance du champ gaussien, le processus des points critiques forme un processus ponctuel faiblement localement répulsif ou faiblement localement attractif.

En particulier, nous montrons que dans le cas où le champ gaussien est le "Berry's Planar Random Wave", les points critiques présentent une faible répulsion locale et de plus la valeur minimale du facteur de répulsion est atteinte dans ce cas. Nous montrons également que le sous-processus formé par les points extrémaux est fortement répulsif ainsi que le sous-processus formé par les points-selles.

Le deuxième sujet étudie le comportement asymptotique dans la limite de haut degré du nombre de points critiques d'un champ gaussien sphérique, appelé harmonique sphérique aléatoire, dans une calotte sphérique dont le rayon tend vers 0. On présume que le nombre de points critiques est dominé par un seul terme dans la décomposition en chaos de Wiener qui est la projection chaotique d'ordre quatre. On conjecture que le nombre de points critiques vérifie un Théorème Central Limite.

► *Thèse soutenue par* : Rémi LAUMONT

► *Sous la direction de* : Andrés Almansa et Julie Delon (université Paris Cité).

---

### **Approche Bayésienne en restauration d'images avec des a-prioris Plug & Play**

*Soutenue le 30 novembre 2022*

*MAP5, Université Paris Cité*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse est consacrée à l'étude des méthodes Plug & Play (PnP) appliquées à des problèmes inverses rencontrés en restauration d'images. Depuis les travaux de Venkatakrisnan en 2013, les méthodes PnP sont souvent appliquées pour la restauration d'image dans un contexte Bayésien. Ces méthodes visent à calculer les estimateurs Minimum Mean Square Error (MMSE) ou Maximum A Posteriori (MAP) pour des problèmes inverses en imagerie en combinant une vraisemblance explicite et un a-priori implicite défini par un algorithme de débruitage. Dans la littérature, les méthodes PnP diffèrent principalement par le schéma itératif utilisé que cela soit pour l'optimisation ou l'échantillonnage. Dans le cas des algorithmes d'optimisation, des travaux récents garantissent la convergence vers un point fixe d'un certain opérateur, point fixe qui n'est pas nécessairement le MAP. Dans le cas des algorithmes d'échantillonnage de la littérature, il n'existe pas de preuves de convergence.



Par ailleurs, il reste d'importantes questions ouvertes portant sur la bonne définition des modèles Bayésiens sous-jacents ou encore des estimateurs calculés, ainsi que leurs propriétés de régularité, nécessaires pour assurer la stabilité du schéma numérique. Le but de cette thèse est de développer des méthodes de restauration simples mais efficaces tout en répondant à ces interrogations. L'existence et la nature des estimateurs MAP et MMSE pour des a-priori PnP constitue donc un premier axe d'étude. Deux méthodes avec des résultats de convergence sont alors présentées, PnP-SGD pour l'estimation du MAP et PnP-ULA pour l'échantillonnage. Un intérêt particulier est porté aux débruiteurs encodés par des réseaux de neurones profonds. L'efficacité de ces méthodes est démontrée sur des problèmes classiques de restauration d'image tels le débruitage, le défloutage ou l'interpolation. En plus de permettre l'estimation du MMSE, l'échantillonnage rend possible la quantification d'incertitudes, ce qui est crucial dans des domaines tels que l'imagerie biomédicale. Enfin, l'influence du débruiteur sur l'a-posteriori estimée est questionnée et une comparaison entre les probabilités données par notre modèle et les probabilités fréquentistes provenant d'un grand nombre d'expériences est faite.

► *Thèse soutenue par* : **Antoine LERBET**

► *Sous la direction de* : Julien Michel (université de Poitiers), Hermine Biermé (université de Tours).

---

**Études statistiques et géométriques de champs aléatoires shot noise.  
Similarités et différences avec les modèles gaussiens.**

*Soutenue le 20 juin 2022*

*Laboratoire de Mathématiques et Applications de Poitiers*

---

**Résumé :**

Cette thèse a pour but l'étude de plusieurs aspects des champs aléatoires shot noise. Nous utilisons la notion d'association pour caractériser la faible dépendance des valeurs de ces champs en des points éloignés et ainsi démontrer la normalité asymptotique vectorielle des estimateurs des moments d'ordre 1 et 2, et expliciter leurs variances et covariances asymptotiques. D'autres informations, spécifiques aux champs aléatoires, proviennent des caractéristiques géométriques des niveaux d'excursion. La densité de péri-

mètre est l'une de celles que nous regardons : les précédents travaux dans la littérature concernent deux catégories de champs, le cas des champs lisses et celui des champs élémentaires. Concernant les champs lisses, nous observons et démontrons le comportement gaussien à haute intensité pour la densité de périmètre. À petite intensité, nous mettons en évidence un tout autre comportement qui se rapproche du cadre élémentaire. Une attention particulière est portée au modèle avec un noyau gaussien et une marque exponentielle qui possède des propriétés remarquables. Ce modèle est paramétré par un triplet  $(\lambda, \mu, \sigma)$  que l'on estime à partir des estimateurs consistants et asymptotiquement normaux des moments. Ces propriétés de consistance et de normalité asymptotique sont ainsi transmises aux estimateurs des paramètres. L'approximation de ce champ lisse par une discrétisation du noyau gaussien permet d'obtenir une expression de la densité de périmètre plus malléable, en utilisant le cadre élémentaire et en faisant tendre le pas de discrétisation vers 0. Les formules sont quasi-explicites et permettent, couplées avec la densité d'aire, de procéder à une classification entre les modèles shot noise et gaussien, et ce malgré leur forte ressemblance à haute intensité.

► *Thèse soutenue par* : **Roger MARÍ MOLAS**

► *Sous la direction de* : Gabriele Facciolo, Enric Meinhardt-Llopis, Carlo De Frnchis et Thibaud Ehret.

---

### Applications de la télédétection multi-image

*Soutenue le 14 décembre 2022  
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay*

---

#### Résumé :

Cette thèse étudie le problème de la reconstruction 3D à partir d'une collection d'images satellites à haute résolution.

La reconstruction 3D multi-vues par satellite nécessite un contrôle très fin de la géométrie d'acquisition, afin de garantir la cohérence des estimations d'altitude obtenues à partir de différentes vues. La première partie de la thèse est donc consacrée à l'optimisation de la représentation mathématique de la géométrie d'acquisition, qui se présente généralement sous la forme de modèles de caméras RPC. Nous proposons une méthodologie d'ajustement de faisceaux qui maximise la cohérence géométrique entre un ensemble de

vues satellites et les caméras RPC associées. Cette méthodologie intègre un algorithme d'estimation de modèles RPC qui permet la composition directe des modèles originaux non raffinés avec des transformations correctives, sans utiliser de représentations intermédiaires approximatives.

La deuxième partie de la thèse présente différentes applications pratiques de la télédétection multi-image, dont la plupart profitent du contrôle de la cohérence de la géométrie d'acquisition. Les différentes méthodes concernent les sujets suivants : la détection des changements de volume au niveau de la surface de la Terre à différentes dates ; la génération géométriquement cohérente de mosaïques à grande échelle construites à partir d'images satellites plus petites ; un réseau de rendu neuronal (NeRF) capable d'apprendre la géométrie d'une scène satellite et de synthétiser de nouvelles vues réalistes, avec la capacité de distinguer les ombres et les objets transitoires des structures permanentes ; et une comparaison entre les algorithmes classiques et les réseaux d'apprentissage profond supervisés pour la mise en correspondance stéréo.

Comme résultat, cette thèse décrit une variété d'idées de pointe sur l'exploitation des images satellites optiques qui ont le potentiel d'améliorer les activités liées à la connaissance de la surface terrestre à grande échelle, comme la surveillance, la planification urbaine ou la gestion des ressources naturelles. Les méthodes présentées sont évaluées avec des images satellites WorldView-3 et SkySat à haute résolution. L'implémentation de la plupart des méthodes est également publiée en logiciel libre Python.

► *Thèse soutenue par* : **Alice MASSET**

► *Sous la direction de* : Olivier Goubet (Université de Lille) et Vivien Desveaux (Université de Picardie Jules Verne).

---

### **Équations de Saint-Venant avec effets rotatifs et thermiques : aspects théoriques et schémas numériques**

*Soutenue le 7 décembre 2022*

*LAMFA, Université de Picardie Jules Verne*

---

#### **Résumé :**

Dans cette thèse, on étudie de façon théorique et numérique le système des équations de Saint-Venant en prenant en compte la force de Coriolis et les

effets thermiques. La première partie est dédiée à la dérivation du modèle à partir des équations primitives, et à l'étude générale de ses propriétés. Dans la deuxième partie, on s'intéresse au problème de Cauchy, i.e à la question de l'existence et de l'unicité d'une solution des équations. Pour cela, on propose d'utiliser deux techniques de démonstration : l'une fondée sur l'ajout d'un terme diffusif, l'autre utilisant une suite de problèmes hyperboliques linéaires à résoudre. On étudie plus en détail les méthodes de symétrisation qui permettent d'établir des estimations a priori indispensables pour obtenir la régularité souhaitée de la solution. Sur le plan numérique, l'objectif majeur consiste à préserver les états stationnaires du modèle en proposant des schémas dits *well-balanced*. C'est l'objet de la troisième partie. On commence par rappeler le principe des schémas de type Godunov pour des systèmes hyperboliques 1D avec terme source. On propose ensuite une stratégie de construction de solveurs de Riemann approchés, qui aboutit à l'obtention de trois schémas préservant toutes les solutions stationnaires. On considère également une méthode de montée en ordre pour améliorer leur précision. De nombreux cas-tests sont proposés pour valider la prise en compte de chacune des spécificités du modèle, et comparer les performances des schémas. Enfin, le dernier chapitre concerne l'extension de ces schémas en deux dimensions d'espace, toujours avec l'objectif de préserver le maximum d'états stationnaires. Là encore, une meilleure précision est obtenue en augmentant l'ordre des schémas, et des exemples numériques viennent illustrer leurs propriétés.

**Mots-clés :** Écoulements géophysiques, équations de Saint-Venant, force de Coriolis, EDP hyperboliques, méthodes de volumes finis, schémas complètement équilibrés

► *Thèse soutenue par :* **Pascal MATTEOLI**

► *Sous la direction de :* Simon Mendez (IMAG, Montpellier) et Franck Nicoud (IMAG, Montpellier).

---

**Implémentation et étude de l'impact de la viscoélasticité de membrane sur la déformabilité des globules rouges**

*Soutenue le 6 décembre 2022*

*IMAG, Montpellier*

---

**Résumé :**

Le globule rouge (GR) est la cellule la plus présente chez les vertébrés. Elle assure de nombreuses fonctions vitales pour l'organisme, la plus essentielle étant le transport de l'oxygène jusqu'aux différents organes. Pour remplir ce rôle, les GRs doivent se déformer pour passer dans des vaisseaux plus petits que leur taille au repos. L'organisme teste même la déformabilité des GRs dans la rate, où les globules ne pouvant pas passer au travers de fentes micrométriques sont éliminés par les macrophages. Ainsi, la déformabilité des GRs est un aspect essentiel de leur fonction et de nombreuses pathologies altèrent cette déformabilité. Bien comprendre les caractéristiques de cette déformabilité et comment les pathologies peuvent l'altérer est essentiel dans l'étude de la circulation sanguine. Depuis quelques années, la simulation numérique de la dynamique des globules rouges a permis de contribuer à cet effort de recherche. Toutefois, parmi les comportements observés expérimentalement et qui n'est généralement pas pris en compte dans les simulations, il y a la viscoélasticité de la membrane, due à la dissipation interne de la membrane lors de sa déformation. La viscoélasticité de la membrane a été montrée dès les années 70, grâce à des essais de micropipette. Des différences notables entre certaines simulations et des expériences ont été attribuées à l'absence de viscosité de membrane dans les modèles de GR. Ces éléments ont motivé ce travail : cette thèse a pour but l'implémentation d'un modèle de viscosité dans un modèle de GR non-visqueux existant ainsi que l'étude de l'impact de la viscosité de membrane sur certains comportements du GR en écoulement.

► *Thèse soutenue par* : **Henri MERMOZ KOUYE**

► *Sous la direction de* : Elisabeta Vergu, Gildas Mayo (INRAE/Université Paris-Saclay) et Clémentine Prieur (Université Grenoble Alpes).

---

**Approches d'analyse de sensibilité de modèles stochastiques.  
Application aux modèles compartimentaux en épidémiologie**

*Soutenue le 2 décembre 2022*

*INRAE (Université Paris-Saclay) et Laboratoire Jean Kuntzmann, Université  
Grenoble Alpes*

---

**Résumé :**

Cette thèse traite de l'analyse de sensibilité des modèles stochastiques. Ces modèles sont souvent entachés d'incertitudes qui proviennent principale-

ment de deux sources : l'incertitude paramétrique liée à la méconnaissance des paramètres et l'aléa intrinsèque qui représente le bruit inhérent au modèle provenant de la façon dont le hasard intervient dans la description du phénomène modélisé. La présence de l'aléa intrinsèque constitue un défi en analyse de sensibilité car, d'une part, il est en général caché et donc ne peut pas être caractérisé et, d'autre part, il agit comme un bruit lorsqu'on évalue l'impact des paramètres sur la sortie du modèle. Or, dans un domaine comme l'épidémiologie, les enjeux associés à la sensibilité d'un modèle peuvent être importants dans la gestion des épidémies car impactant les décisions prises sur la base de ce modèle. Cette thèse étudie des approches d'analyse de sensibilité des modèles stochastiques tels que les modèles épidémiologiques basés sur des processus stochastiques, dans le cadre de l'analyse basée sur la variance. Dans un contexte général, nous introduisons une méthode qui optimise le compromis entre le nombre de valeurs de paramètres des modèles et le nombre de réplifications des évaluations en ces valeurs à considérer dans l'estimation des indices de sensibilité. Pour cette méthode, nous considérons la classe des quantités d'intérêt de la sortie des modèles stochastiques qui sont sous la forme d'espérances conditionnelles par rapport aux paramètres. Dans le cadre de l'estimation des indices de sensibilité par la méthode de Monte-Carlo, nous contrôlons le risque quadratique des estimateurs, montrons sa convergence et trouvons un compromis entre le biais lié à la présence de l'aléa intrinsèque et la variance. Dans le contexte spécifique des modèles compartimentaux stochastiques en épidémiologie, nous caractérisons l'aléa intrinsèque associé aux processus stochastiques sur lesquels ces modèles sont basés. Ces processus stochastiques peuvent être Markoviens ou non-Markoviens. Pour les processus Markoviens, nous utilisons les algorithmes de Gillespie pour expliciter l'aléa intrinsèque et le séparer de l'aléa paramétrique. Et dans le cas des processus non-Markoviens, nous étendons à une classe large de modèles compartimentaux la construction de Sellke qui permettait à l'origine de décrire les dynamiques du modèle épidémiologique SIR dans un cadre non nécessairement Markovien. Cette extension a permis d'élaborer un algorithme de simulation permettant de générer des trajectoires exactes dans un cadre non-Markovien d'une large gamme de modèles compartimentaux mais aussi de pouvoir séparer l'aléa intrinsèque de l'aléa paramétrique dans la sortie de ces modèles. Ainsi, pour les deux types de processus, Markoviens et non-Markoviens, la séparation des deux sources d'aléas a été obtenue et elle permet d'écrire la sortie du modèle comme fonction déterministe des paramètres incertains et des variables représen-

tant l'aléa intrinsèque. Lorsque l'incertitude sur les paramètres est supposée indépendante de l'aléa intrinsèque, cette représentation permet d'évaluer les contributions de l'aléa intrinsèque sur les sorties du modèle, en plus des contributions des paramètres. Il est également possible de caractériser les différentes interactions. Cette thèse a contribué à développer une approche d'estimation des indices de sensibilité et à évaluer la contribution de l'aléa intrinsèque dans les modèles compartimentaux en épidémiologie basés sur des processus stochastiques.

**Mots-clés :** Indices de Sobol', méthodes de Monte-Carlo, processus stochastiques, modèles épidémiologiques, algorithmes de simulation exacte

► *Thèse soutenue par :* **Rita NADER**

► *Sous la direction de :* Nils Berglund (université d'Orléans).

---

### **Métastabilité dans des EDP stochastiques lentement dépendantes du temps non singulières et singulières**

*Soutenue le 22 novembre 2022*

*Institut Denis Poisson, Université d'Orléans*

---

#### **Résumé :**

On considère des équations aux dérivées partielles stochastiques (EDPS) lentement dépendantes du temps soumises à un bruit blanc espace-temps. Ces EDPS ne sont pas toujours bien posées. On montre que sur le tore de dimension une, ce problème n'apparaît pas. On s'intéresse à des EDPS soumises aussi à un forçage périodique en temps. Ce dernier s'annule en trois branches d'équilibres dont deux stables et une instable, qui s'approchent l'une de l'autre à un certain temps. On décrit l'effet de la résonance stochastique sur le système. On montre l'existence d'une intensité de bruit critique dépendante de la période du forçage et de la distance minimale entre les branches d'équilibres. Pour une intensité de bruit inférieure à l'intensité seuil, la probabilité que les solutions de l'EDPS passent d'un équilibre stable à l'autre est exponentiellement petite, tandis que ces transitions ont lieu avec une probabilité exponentiellement proche de 1 pour des intensités de bruit plus grandes. Les estimées de concentration des solutions sont données dans des normes de Sobolev. D'un autre côté, sur le tore de dimension deux, les EDPS ne sont pas bien définies et une renormalisation au sens de Wick est

nécessaire pour définir une solution de l'équation. On donne des estimées de concentration des solutions dans des normes de Bessov et  $H^r$  et on montre qu'elles sont concentrées avec grande probabilité près de la branche d'équilibre stable. Ensuite, on discute le cas où le système s'approche d'une bifurcation fourche ou un phénomène intéressant a lieu : le retard à la bifurcation. Les résultats obtenus sont une généralisation à une dimension infinie de résultats obtenus pour des EDS en dimension finie.

► *Thèse soutenue par* : **Amel NEZZAL**

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

---

### **Contributions à la théorie des U-statistiques et processus empiriques**

*Soutenue le 28 octobre 2022*

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

---

#### **Résumé :**

Dans cette thèse, nous nous intéressons principalement à l'estimation des modèles de régression non paramétrique. Plus précisément, nous nous intéressons à une classe d'estimateurs des U-statistiques conditionnelles. Les U-statistiques conditionnelles peuvent être considérées comme une généralisation de l'estimateur de Nadaraya-Watson. Ce dernier utilise les méthodes à noyau pour « moyenner » les valeurs des variables réponses. Stute généralise l'estimateur de Nadaraya-Watson en remplaçant les moyennes pondérées simples au numérateur et au dénominateur par des U-statistiques. Ensuite, en utilisant une collection de variables aléatoires prédictives, il prédit l'espérance conditionnelle de la fonction noyau des U-statistiques. Cette généralisation est prospère et influente dans la statistique mathématique en raison de son utilité scientifique exceptionnelle et de sa fascinante complexité théorique. Cependant, comme toute autre technique d'estimation par noyau, la question du choix de la fenêtre de lissage appropriée pour équilibrer le compromis variance-biais, est un sujet qui reste mal abordé dans la littérature sur les U-statistiques conditionnelles lorsque les variables explicatives sont fonctionnelles. Dans la première partie de la thèse, nous introduisons l'estimateur  $k$  des plus proches voisins des U-statistiques conditionnelles



dépendant d'une covariable de dimension infinie. La convergence uniforme en termes de nombre de voisinages (UINN) pour l'estimateur proposé est présentée. Un tel résultat permet de varier le nombre de voisinages dans une plage complète pour laquelle l'estimateur reste consistant. Par conséquent, ce résultat représente une ligne directrice intéressante dans la pratique pour sélectionner le nombre de voisinages optimal dans l'analyse des données fonctionnelles non paramétriques. De plus, nos résultats sont uniformes sur une classe de fonctions convenablement choisie  $\mathcal{F}$ , dans les deux cas bornée et non bornée, satisfaisant des conditions de moment et certaines conditions générales sur l'entropie. En tant que sous-produit de nos preuves, nous énonçons des résultats de convergence pour le  $k$ -NN des U-statistiques conditionnelles, dans le cadre de la censure aléatoire, uniformes en nombre de voisins. La deuxième partie de la thèse traite un cadre général d'estimation non paramétrique incluant l'estimateur de Stute comme cas particulier. La classe des « estimateurs de delta séquence » est introduite et traitée dans ce travail. Cette classe comprend également les séries orthogonales et les méthodes d'histogramme. Nous étendons partiellement ces résultats au cadre des données fonctionnelles. La majeure partie de la thèse est motivée par les problèmes d'apprentissage, y compris parmi beaucoup d'autres, les problèmes de discrimination, l'apprentissage métrique et le « classement multipartite ».

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Jean-David PAILLÉRON**
- ▶ *Sous la direction de* : Romain Gicquaud (université de Tours).

---

### **Construction de données initiales du problème de Cauchy en Relativité Générale**

*Soutenue le 23 novembre 2022*  
*Institut Denis Poisson, Université de Tours*

---

#### **Résumé :**

Dans le cadre de cette thèse, nous étudierons des variantes du problème de Cauchy en relativité générale et nous poserons la question de l'existence de solutions aux équations de contrainte de ces problèmes. Actuellement, je m'intéresse plus particulièrement aux variétés à bords modélisant des trous noirs.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Romain PETIT**
- ▶ *Sous la direction de* : Vincent Duval (INRIA) et Yohann De Castro (université Paris Dauphine).

---

**Régularisation par la variation totale pour la reconstruction  
d'images constantes par morceaux : identification du support et  
méthodes numériques sans grille**

*Soutenue le 12 décembre 2022  
CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

**Résumé :**

On s'intéresse dans cette thèse à une famille de problèmes inverses, qui consistent à reconstruire une image à partir de mesures linéaires possiblement bruitées. On cherche à analyser les méthodes de reconstruction variationnelles utilisant un régulariseur spécifique, la variation totale (du gradient). Cette fonctionnelle est utilisée en imagerie depuis les travaux de Rudin Osher et Fatemi, menés en 1992. Alors qu'il est bien connu que sa minimisation produit des images constantes par morceaux, présentant une forme de parcimonie (elles sont composées d'un petit nombre de formes simples), ce point de vue n'a à notre connaissance pas été privilégié pour analyser les performances de ce régulariseur. Dans cette thèse, on se propose de mener cette étude. Dans un premier temps, on considère les reconstructions obtenues par minimisation de la variation totale dans un régime de faible bruit, et on étudie leur proximité avec l'image inconnue. Puisque cette dernière est supposée parcimonieuse, on s'intéresse particulièrement à la structure de la reconstruction : est-elle elle-même parcimonieuse, est-elle composée du même nombre de formes, et ces formes sont-elles proches de celles présentes dans l'image inconnue ? Dans une seconde partie, on propose une méthode numérique pour résoudre les problèmes variationnels associés à ce régulariseur. On introduit un algorithme ne reposant pas sur l'introduction d'une discrétisation spatiale fixe. Ceci a l'avantage, contrairement aux techniques existantes, de n'introduire ni flou ni anisotropie dans les images reconstruites, et d'en produire une représentation parcimonieuse.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Gaétan PLANCHON**
- ▶ *Sous la direction de* : Thomas Hausberger (IMAG, Montpellier).

---

**Relations entre connaissances universitaires et connaissances  
enseignées dans le secondaire : la seconde discontinuité de Klein  
dans le cas de l'intégrale**

*Soutenue le 2 décembre 2022*

*IMAG, Montpellier*

---

**Résumé :**

Cette thèse, qui s'inscrit dans le champ de la didactique des mathématiques, a pour but l'étude de la seconde discontinuité de Klein. Cette dernière se situe à la sortie de l'université, lorsqu'un étudiant devient enseignant de mathématiques dans le secondaire. C'est par exemple le cas pour l'intégrale où les étudiants qui deviennent enseignants perçoivent, en général, assez mal les liens entre les différentes théories de l'intégration enseignées à l'université et l'intégrale du lycée fondée sur la notion intuitive d'aire. Afin d'analyser les différents phénomènes didactiques qui en résultent, nous plaçons notre étude dans la perspective institutionnelle de la Théorie Anthropologique du Didactique (TAD).

L'étude de la transposition didactique de l'intégrale à l'université nous a conduit à faire un état des lieux des débats qui ont eu lieu dans la noosphère (la communauté des mathématiciens) concernant le choix des théories de l'intégration à enseigner en licence, que nous avons mis en regard avec le choix de 6 universités quant aux théories de l'intégration enseignées en licence de mathématiques. Cette partie de l'étude a abouti à la production de modèles praxéologiques dominants pour l'enseignement de l'intégrale de Riemann et de la théorie de la mesure (qui couvre l'intégrale de Lebesgue) à l'université de Montpellier.

Puis nous présentons une ingénierie didactique, sous forme d'activité d'étude et de recherche (AER), qui repose sur la notion de mesure de Jordan et qui vise à rendre visibles les liens entre théorie de la mesure, intégrale de Riemann et théorie intuitive de l'aire. Ces relations sont décrites en termes de blocs des praxéologies et conduisent au développement de nouvelles praxéologies, que nous appelons praxéologies de Klein. Les analyses du travail des étudiants sont menées avec les différents outils de la TAD (question-gramme, schéma herbartien et moments de l'étude).

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Donato SCARCELLA**
- ▶ *Sous la direction de* : Jacques Fejoz et Abed Bounemoura (université Paris Dauphine).

---

### **Solutions asymptotiquement quasipériodiques pour des hamiltoniens dépendant du temps**

*Soutenue le 8 décembre 2022  
CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

#### **Résumé :**

Dans cette thèse, nous nous intéressons aux systèmes hamiltoniens dépendants du temps. Plus précisément, nous étudions l'existence d'orbites convergeant, quand  $(t \rightarrow \pm\infty)$ , vers des solutions quasipériodiques. Après la première partie consacrée à l'introduction, les résultats de cette thèse sont divisés en quatre parties. Dans la première partie, nous analysons quand ce genre d'orbites existent pour des hamiltoniens dépendants du temps convergeant asymptotiquement dans le temps  $(t \rightarrow +\infty)$  vers des hamiltoniens ayant un tore invariant supportant des solutions quasipériodiques. Une deuxième partie est consacrée à l'étude des conditions d'existence des orbites définies pour tous les temps et convergeant asymptotiquement dans le temps vers certaines solutions quasipériodiques dans le passé  $(t \rightarrow -\infty)$  et dans le futur  $(t \rightarrow +\infty)$ . La troisième partie est dédiée aux applications en mécanique céleste. Nous considérons l'exemple d'un système planétaire perturbé par une comète venant et revenant à l'infini asymptotiquement le long d'une orbite képlérienne hyperbolique. Ici, le hamiltonien qui décrit ce système ne satisfait pas des bonnes propriétés de décroissance par rapport au temps. Par conséquent, les résultats des parties précédentes ne s'appliquent pas. Donc, nous sommes obligés de prouver un autre théorème abstrait pour montrer l'existence d'orbites appropriées associées à ce système. Nous concluons cette thèse en étudiant des hamiltoniens dépendants du temps convergeant asymptotiquement par rapport au temps  $(t \rightarrow +\infty)$  vers des hamiltoniens ayant un tore invariant supportant une dynamique arbitraire. Ici, nous prouvons l'existence de certaines orbites convergeant asymptotiquement dans le temps  $(t \rightarrow +\infty)$  vers la dynamique arbitraire associée au tore invariant précédent.

► *Thèse soutenue par* : **Florentina ŞOIMAN**

► *Sous la direction de* : Sonia Jimenez-Garces et Jean-Guillaume Dumas (Université Grenoble Alpes).

---

**Relation risque-rendement. Le cas de la technologie Blockchain et du marché des crypto-monnaies**

*Soutenue le 7 décembre 2022*

*Laboratoire Jean Kuntzmann et CERAG, Université Grenoble Alpes*

---

**Résumé :**

Cette thèse se concentre sur la relation risque-rendement. Elle vise à découvrir les déterminants des rendements financiers sur le marché de la cryptomonnaie. Plus précisément, nous commençons cette thèse en étudiant les risques uniques encourus par les actifs basés sur Blockchain (par exemple, les attaques cryptographiques, les attaques de contrats intelligents et autres vulnérabilités technologiques), risques qui pourraient être la source de la volatilité inhérente au marché. Dans l'idée d'explorer d'explorer les risques spécifiques à Blockchain, cette thèse comprend également une analyse de l'impact des événements technologiques sur les caractéristiques financières des crypto-actifs. De plus, la thèse expose la diversité des crypto-actifs et leurs implications pour la valorisation des actifs.

**Mots-clés :** Blockchain, crypto-assets, pricing, risk-return relationship, finance.

► *Thèse soutenue par* : **Inass SOUKARIEH**

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

---

**Theoretical Contribution to the  $U$ -processes in Markov and Dependent setting : Asymptotic and bootstraps**

*Soutenue le 6 décembre 2022*

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

---

**Résumé :**

The world is producing 2.5 quintillion bytes daily<sup>a</sup>, known as big data. Volume,

value, variety, velocity, and veracity define the five characteristics of big data that represent a fundamental complexity for many machine learning algorithms, such as clustering, image recognition, and other modern learning techniques. With this large data, hyperparameter estimations do not take the form of the sample mean (not linear). Instead, they take the form of average over  $m$ -tuples, known as the  $U$ -statistic estimator. In this work, we treat the collection of  $U$ -statistics, known as the  $U$ -process, for Markovian data, and locally stationary random variables.

The approach with Markovian data relies on regenerative methods, which essentially involve dividing the sample into independent and identically distributed blocks of data. We derive the limiting theory for Harris recurrent Markov chain over uniformly bounded and unbounded classes of functions. The results are generalized to the bootstrapped  $U$ -statistics, which bypasses the problems faced with the asymptotic behavior due to the unknown parameters of limiting distribution. The bootstrap technique used in this thesis is the renewal bootstrap. The main difficulties are related to the random size of the resampled blocks, which creates a problem with random stopping times. Also, since we resample from a random number of blocks, and the bootstrap equicontinuity can be verified by comparing with the initial process, the weak convergence of the bootstrap  $U$ -process must be treated carefully. We successfully derive the results in the case of the  $k$ -Harris Markov chain. We extend all the above results to the case where the degree of  $U$ -statistic grows with the sample size  $n$ , with the kernel varying in a class of functions. Remaining in the Markovian setting, we extend the weighted bootstrap empirical processes to a high-dimensional estimation. We consider an exchangeably weighted bootstrap of the general function-indexed empirical  $U$ -processes. Dependent data are represented by locally stationary random variables. Propelled by the increasing representation of the data by functional or curves time series and the non-stationary behavior of the latter, we are interested in the conditional  $U$ -process of locally stationary functional time series. Finally, we extend the asymptotic theory of conditional  $U$ -process to the locally stationary functional random field  $\{X_{s,A_n} : s \in R_n\}$  observed at irregular spaced locations in  $R_n = [0, A_n]^d \in \mathbb{R}^d$ , and include both pure increasing domain and mixed increasing domain. We treat the weak convergence in both cases when the class of functions is bounded or unbounded, satisfying some moment conditions.

---

a. <https://financesonline.com/how-much-data-is-created-every-day/>

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Duc-Thinh VU**
- ▶ *Sous la direction de* : Emmanuel Lépinette (université Paris Dauphine).

---

### **Quelques techniques alternatives d'évaluation et d'optimisation en mathématiques financières**

*Soutenue le 29 septembre 2022  
CEREMADE, Université Paris Dauphine*

---

#### **Résumé :**

ette thèse présente quatre problèmes d'évaluation et d'optimisation en mathématiques financières. Les trois premiers problèmes sont complètement résolus et le quatrième est en cours. Dans la première partie, nous considérons le problème de couverture en présence de mesures de risque dynamiques définies sur l'espace Lo des variables aléatoires. En particulier, nous fournissons une condition de non arbitrage (NA) sous laquelle le prix de couverture du risque est atteint. Nous prouvons ensuite une version du théorème fondamental de l'évaluation des actifs et une caractérisation duale des prix de couverture du risque d'une option européenne. Enfin, nous donnons un exemple où la représentation duale de la mesure de risque sur Lo. Dans la seconde partie, nous résolvons un problème classique de caractérisation des prix des options européennes dans des modèles de marchés financiers avec coûts de transaction. Pour ce faire, nous prouvons d'abord une version générale du principe de programmation dynamique (DPP) pour l'infimum essentiel conditionnel. Nous introduisons ensuite une condition NA faible sous laquelle le DPP est implémentable. Dans la troisième partie, nous appliquons le résultat théorique établi dans la deuxième partie en fournissant un algorithme pour calculer les prix de super-couverture en pratique. De plus, les prix exacts seront déduits pour le cas du coût de transaction proportionnel et le cas du coût fixe. Dans la dernière partie, nous présentons nos avancées actuelles sur la problématique d'optimisation de portefeuille sous contrainte de risque de crédit. Notre problème s'inscrit dans le cadre du contrôle optimal sous contraintes cibles stochastiques.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Yen Van VUONG**
- ▶ *Sous la direction de* : Maxime Hauray et Étienne Pardoux (Aix-Marseille université).

---

## **Théorèmes limites en grande population pour des épidémies spatiales avec interaction de champ moyen**

*Soutenue le 7 décembre 2022*

*Aix-Marseille université*

---

### **Résumé :**

Dans cette thèse, nous étudions un modèle épidémique spatial stochastique où les individus sont caractérisés par leur position et leur état d'infection. Nous commençons par une description microscopique dans laquelle le déplacement des individus est piloté par des interactions de champ moyen, une diffusion dépendant de l'état de l'individu et un bruit environnemental commun. L'évolution des états épidémiologiques est décrite par des processus ponctuels de Poisson avec un taux d'infection dépendant de la distribution des autres individus proches, également de type champ moyen. Ensuite, nous étudions le comportement de ce système au niveau macroscopique lorsque la taille de la population tend vers l'infini.

Dans le premier travail, nous établissons un résultat de propagation conditionnelle du chaos, qui stipule que conditionnellement au bruit commun, les individus sont asymptotiquement indépendants et la dynamique stochastique converge vers un processus McKean-Vlasov non linéaire aléatoire lorsque le nombre  $N$  d'individu tend vers l'infini. En conséquence, la mesure empirique associée converge vers une mesure, qui est la solution d'une EDP à champ moyen stochastique pilotée par le bruit commun. C'est un résultat de type loi des grands nombres (LGN), ici dans une version quantitative.

Ensuite, en l'absence de bruit commun, nous étudions la fluctuation de la mesure empirique associée au système ci-dessus autour de sa limite, et nous prouvons ici un théorème central limite (TCL) pour ce modèle. Nous prouvons que ces fluctuations convergent vers un processus limite, qui peut être caractérisé comme l'unique solution d'une EDP stochastique linéaire. Contrairement à la littérature existante utilisant une approche par couplage, pour prouver le TCL, nous étudions directement l'équation d'évolution du processus de fluctuation dans un espace de Sobolev pondéré approprié et suivons une approche Hilbertienne.

Une difficulté technique surgit dans la preuve du TCL, liée aux estimations de régularité d'un semi-groupe de diffusion dans des espaces de Sobolev pondérés. C'est aussi l'objet du travail du dernier chapitre de prouver ce résultat, qui semble avoir une utilité indépendante de son utilisation dans notre preuve du TCL.



- ▶ *Thèse soutenue par* : Peng WU
- ▶ *Sous la direction de* : Emmanuel Bacry (université Paris Dauphine) et Jean-François Muzy (université de Corse).

---

## Analyse et modélisation des dynamiques haute fréquence sur les marchés financiers

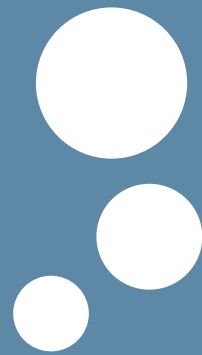
*Soutenue le 16 juin 2022*  
CEREMADE, Université Paris Dauphine

---

### Résumé :

Cette thèse est consacrée à l'étude de la dynamique des prix sur les marchés électroniques. Notre premier objectif est de construire un modèle fiable pour les flux d'ordres qui arrivent aux meilleurs niveaux du carnet d'ordres. La question sous-jacente à laquelle nous tentons de répondre est de savoir comment caractériser les interactions entre les flux d'ordres. L'état du carnet d'ordres influence-t-il également cette interaction ? Le deuxième sujet de cette thèse est l'analyse de la volatilité multifractale. Nous étudions tout d'abord les similarités entre les propriétés d'invariance d'échelle de deux classes populaires de modèles de volatilité stochastique, à savoir le modèle de "Rough Fractional Stochastic Volatility" (RFSV) et le modèle de "Multifractal Random Walk" (MRW). Les similitudes suggèrent-elles des liens plus profonds ? Quelle est la meilleure méthode pour mesurer la rugosité de la volatilité à partir de données empiriques ? Pour répondre à ces questions, nous commençons par analyser la limite  $H \rightarrow 0$  dans une variante du modèle RFSV. Enfin, nous considérons un sujet plus ambitieux qui consiste à modéliser des dynamiques plus complexes comme la covariance des prix avec des processus ponctuels. Le défi consiste à quantifier la contribution marginale de chaque participant du marché à la covariance. Existe-t-il un lien entre la contribution de la covariance et les profils statistiques des participants du marché ? Tous les modèles décrits dans cette thèse sont examinés avec divers ensembles de données. Des résultats empiriques sont rapportés, avec quelques faits stylisés commentés. Le manuscrit est divisé en cinq chapitres. Dans le Chapitre 1, nous introduisons le modèle Single Queue Reactive Hawkes (SQRH). Nos résultats suggèrent que pour construire un modèle fiable de flux d'ordres, l'état actuel de LOB ainsi que l'effet d'auto-excitation des flux d'ordres précédents sont importants. Dans le Chapitre 2, nous étendons le SQRH introduit dans le chapitre précédent sur les deux meilleures côtés du LOB. Ce modèle permet de révéler la dynamique conjointe des flux

d'ordres arrivant sur les deux côtés du LOB. Nous constatons notamment que notre variable d'état ainsi définie est fortement liée au déséquilibre des volumes. Dans le Chapitre 3, nous introduisons une famille de mesures aléatoires log-normales paramétrées et construisons le modèle dit S-fBM. Ce modèle nous permet de considérer les deux classes populaires de modèles de volatilité dans le même cadre : le modèle multifractal (caractérisée par un paramètre de Hurst  $H = 0$ ) et le modèle volatilité rugueuse (caractérisée par un paramètre de Hurst  $H > 0$ ). Nous montrons notamment que l'estimation de ce paramètre à partir des propriétés d'échelle peut conduire à une forte surestimation. Nous proposons une méthode d'estimation basée sur GMM qui, lorsqu'elle est appliquée à un large ensemble de données empiriques sur la volatilité, conduit à des valeurs de  $H$  très proches du 0 pour les actions tandis que  $H$  est significativement plus grand pour les indices. Dans le Chapitre 4, nous introduisons un modèle basé sur les processus de Hawkes pour reconstruire la covariance des prix à partir des événements du carnet d'ordres. En introduisant des relations approchées au premier ordre de la norme de la matrice des noyaux, nous arrivons à quantifier la contribution marginale de chaque participant du marché à la covariance des prix. Les résultats empiriques suggèrent que la contribution des participants du marché à la covariance des prix est indépendante des actifs aux lesquels interviennent ces acteurs. Nous montrons que leur contribution est fortement liée à leur profil statistique. Ce chapitre ne contient que des travaux préliminaires avec des résultats illustratifs, qui pourraient être étendus dans les recherches futures.



*par :*

---

*Thomas HABERKORN<sup>1</sup> – Université d'Orléans,  
Responsable de la rubrique « Annonces de colloques »*

## MARS 2023

► INTERNATIONAL CONFERENCE : CHALLENGES AND ADVANCES IN MODERN VARIATIONAL ANALYSIS (IN HONOR OF JEAN-PAUL PENOT)

*du 14 au 15 Mars 2023, à Limoges*

<https://jpp2023.math.cnrs.fr>

► CONFERENCE ON CONTROL AND RELATED FIELDS (CRF)

*du 27 au 29 Mars 2023, à Séville (Espagne)*

<http://departamento.us.es/edan/CRF23/>

## AVRIL 2023

► CONFERENCE ON STOCHASTIC METHODS FOR THE ANALYSIS OF NUMERICAL CODES (MASCOT-NUM 2023)

*du 3 au 6 Avril 2023, à Le Croisic*

<https://mascotnum2023.sciencesconf.org/>

---

1. [thomas.haberkorn@univ-orleans.fr](mailto:thomas.haberkorn@univ-orleans.fr)

- ▶ CONFERENCE ON THE 40 YEARS OF REFLECTED BROWNIAN MOTION AND RELATED TOPICS

*du 24 au 28 Avril 2023, à Roscoff*

<https://40yearsofrbm.wp.imt.fr/>

## MAI 2023

- ▶ SUMMER SCHOOL ON PDEs AND RANDOMNESS

*du 10 au 24 Mai 2023, à Leipzig (Allemagne)*

[www.mis.mpg.de/calendar/conferences/2023/randompde.html](http://www.mis.mpg.de/calendar/conferences/2023/randompde.html)

- ▶ CONGRÈS DES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES ET INDUSTRIELLES, (CONGRÈS SMAI 2023)

*du 22 au 26 Mai 2023, à Le Gosier*

<https://smai2023.math.cnrs.fr>

- ▶ INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBUST STATISTICS (ICORS 2023)

*du 23 au 26 Mai 2023, à Toulouse*

<https://icors2023.sciencesconf.org/>

- ▶ INTERNATIONAL CONFERENCE : EMERGING TECHNOLOGIES IN COMPUTATIONAL SCIENCE FOR INDUSTRY, SUSTAINABILITY AND INNOVATION, TAORMINA ( MATH 2 PRODUCT)

*du 30 Mai au 1er Juin 2023, en Sicile (Italie)*

<https://m2p2023.cimne.com>

- ▶ CONFÉRENCE EN L'HONNEUR D'ÉLISABETH GASSIAT

*du 31 Mai au 2 Juin 2023, à Orsay*

<https://www.imo.universite-paris-saclay.fr/fr/conf/conference-62-elisabeth-gassiat/>

## JUIN 2023

- ▶ ASSIMILATION CONTROL AND COMPUTATIONAL SPEED UP  
*du 6 au 7 Juin 2023, au LAGA, Université Sorbonne-Paris Nord (ANR ALLOWAPP)*  
<https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE46-0013>
  
- ▶ WORKSHOP ON APPLIED PROBABILITY (IWAP 2023)  
*du 7 au 10 Juin 2023, à Thessaloniki (Grèce)*  
<http://iwap2020.web.auth.gr/>
  
- ▶ ECOLE D'ÉTÉ SUR LES MODÈLES DE CHAMP MOYEN  
*du 12 au 16 Juin 2023, à Rennes*  
<https://www.lebesgue.fr/fr/meanfield>
  
- ▶ CONFERENCE ON FOUNDATIONS OF COMPUTATIONAL MATHEMATICS (FoCM 2023)  
*du 12 au 21 Juin 2023, à Paris*  
<https://focm2023.org>
  
- ▶ CONFERENCE ON CALCULUS OF VARIATION AND APPLICATIONS  
*du 19 au 21 Juin 2023, à Paris*  
<https://indico.math.cnrs.fr/event/9091/>
  
- ▶ SUMMER SCHOOL ON ADVANCED PARALLEL-IN-TIME METHODS  
*du 13 au 15 juin 2023, à Milan (Italie)*  
<https://gciara.wordpress.com/summer-school-on-advanced-parallel-in-time-methods/>
  
- ▶ JOURNÉES DE PROBABILITÉS 2023  
*du 19 au 23 Juin 2023, à Angers*  
<http://site-jp2023.apps.math.cnrs.fr/>
  
- ▶ JOURNÉES POLYÈDRES ET OPTIMISATION COMBINATOIRE  
*du 26 au 30 Juin 2023, à Clermont-Ferrand*  
<https://www.lamsade.dauphine.fr/poc/>

► INFORMS APPLIED PROBABILITY SOCIETY CONFERENCE

*du 28 au 30 Juin 2023, à Nancy*

<https://informs-aps2023.event.univ-lorraine.fr/>

## JUILLET 2023

► INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL ANALYSIS AND SCIENTIFIC COMPUTING WITH APPLICATIONS (NASCA23)

*du 3 au 6 Juillet 2023, à Athènes, Grèce*

<https://nasca23.univ-littoral.fr/>

► SCHOOL ON NUMERICAL SIMULATIONS IN PHYSICS AND ENGINEERING - "MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL MODELLING ACROSS THE SCALES"

*du 3 au 7 Juillet 2023, à Barcelone (Espagne)*

<https://ehf-j11-2023.cimne.com>

## AOÛT 2023

► CONFERENCE ON GEOMETRIC SCIENCE OF INFORMATION (GSI'23)

*du 30 Août au 1er Septembre 2023, à Saint-Malo*

<https://gsi2023.org/>

## SEPTEMBRE 2023

► SIXTH WORKSHOP ON THIN STRUCTURES

*du 7 au 9 Septembre 2023, à Naples (Italie)*

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

## OCTOBRE 2023

► EURO-JAPANESE CONFERENCE ON NONLINEAR DIFFUSIONS

*du 16 au 20 Octobre 2023, à Madrid (Espagne)*

<https://sites.google.com/view/2023-period-pdes-icmat-uam/events/euro-japanese-conference-on-nonlinear-diffusions>





# 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** *Terence Bayen*  
Dépt de Mathématiques  
Univ. d'Avignon  
33 rue Louis Pasteur  
84000 Avignon  
terence.bayen@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 Ma-  
thématique 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<sup>d</sup> 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<sup>d</sup> 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<sup>d</sup> 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<sup>al</sup> 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<sup>d</sup> 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



# Join 14,000+ of your peers in applied mathematics and computational science when you join SIAM!

## GET 25% OFF NOW!

### As a SIAM Member, you'll get:

- Subscriptions to *SIAM News*, *SIAM Review*, and *SIAM Unwrapped* e-newsletter
- Discounts on SIAM books, journals, and conferences
- Eligibility to join SIAM Activity Groups
- The ability to nominate two students for free membership
- Eligibility to vote for or become a SIAM leader
- Eligibility to nominate or to be nominated as a SIAM Fellow

### You'll Experience:

- Networking opportunities
- Access to cutting edge research
- Visibility in the applied mathematics and computational science communities
- Career resources

### You'll Help SIAM to:

- Increase awareness of the importance of applied and industrial mathematics
- Support outreach to students
- Advocate for increased funding for research and education

“SIAM has been my primary professional society for the past 45 years not only because of the high-quality journals and conferences covering a wide range of topics that interest me, but also because it is a superb collection of people...I can attest to the difference that SIAM membership has made for me both personally and professionally.”

— Randy LeVeque, SIAM Member, Fellow, and Board Member



## Join SIAM today at [siam.org/joinsiam](https://siam.org/joinsiam)

SMAI members who live outside the U.S. get a reciprocal member rate that is 30% less than the regular member rate. And if you join by December 31, 2022, you'll get an additional 25% off your membership when you enter promo code **MBNW23** at check out.

**SAVE  
30%  
PLUS AN  
ADDITIONAL 25%  
WITH CODE MBNW23**

**siam** | Society for Industrial and Applied Mathematics

10/22