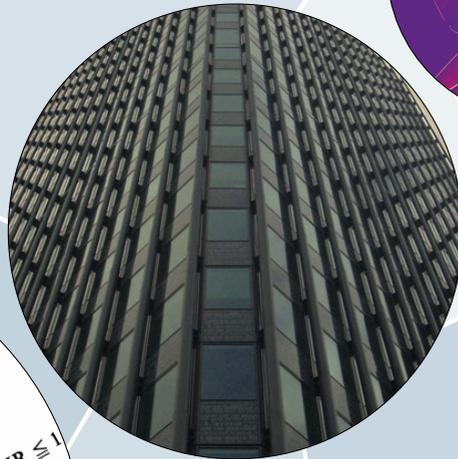


# MATAPLI



Max  $|\gamma|$ .  
 On fait les hypothèses (2):  
 $HR < 1$   
 $\gamma$  n'est pas une constante sur  $\partial\Omega$ .  
 existe au moins deux solutions distinctes du problème (1).  
 que 1. — On savait déjà, d'après S. Hildebrandt [1] que si  $HR \leq 1$   
 e solution de (1). Il est vraisemblable que si  $\gamma(x, y) = R(x, y, 0)$  et  
 (1) possède une seule solution.  
 e 2. — L'hypothèse (4) est essentielle. On sait, d'après u  
 que si  $\gamma$  coïncide avec une constante C sur  $\partial\Omega$ , alors u  
 entielles de la démonstration sont les suivantes:  
 problème (1) admet une « petite » solution  $u$  tel  
 $\gamma \in H^1(\Omega; \mathbb{R}^3) \cap C(\bar{\Omega}; \mathbb{R}^3)$

## 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° 135 — Novembre 2024.**

Édité par la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles

**Directeur de la publication**

Samir ADLY, Président de la SMAI

**Composition, mise en page**

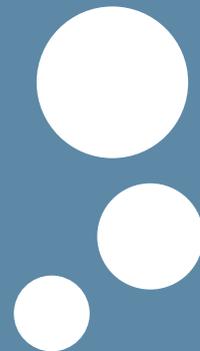
Julien SALOMON et Maxime CHUPIN

**Impression**

Présence Graphique,

2 rue de la Pinsonnière, 37260 Monts

# Sommaire



ÉDITO	— 3
COMPTE RENDU DE L'AG DE LA SMAI	— 7
COMPTES RENDUS DU CA DE LA SMAI	— 11
SUMMIT	— 17
MATHALÉA, UN MOTEUR POUR GÉNÉRER ALÉATOIREMENT DES ÉNONCÉS CORRIGÉS	— 21
LES ENJEUX DE LA SCIENCE OUVERTE	— 29
PROJETS BOUM	— 41
MUSÉE FERMAT	— 53
HAIM BREZIS 1944-2024	— 57
DU CÔTÉ DU LABEX AMIES	— 87
LES RÉFORMATEURS L'ESR — INTERVIEW DE J. LAILLIER ET C. TOPALOV	— 93
LE RÉSEAU DES CENTRES MATHÉMATIQUES TIANYUAN EN CHINE	— 109
RÉSUMÉS DE LIVRES	— 111
RÉSUMÉS DE THÈSES ET HDR	— 115
ANNONCES DE COLLOQUES	— 137
CORRESPONDANTES ET CORRESPONDANTS LOCAUX	— 139

*Date limite de soumission des textes pour le Matapli 136 :*  
**15 février 2024**

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

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

*MATAPLI - ISSN 0762-5707*

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

## PRIX DES PUBLICITÉS ET ENCARTS DANS MATAPLI POUR 2024

- 150 € pour une demi-page intérieure
- 250 € pour une page intérieure
- 400 € pour la 3<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*

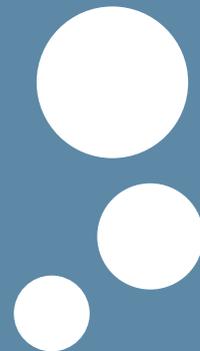
*SMAI – Institut Henri Poincaré – 11 rue Pierre et Marie Curie – 75231 Paris Cedex 05*

*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 :

---

Samir ADLY<sup>1</sup> — Université de Limoges, Laboratoire  
XLIM

Chers membres de la communauté SMAI,

En ce milieu de premier semestre universitaire, j'ai le plaisir de partager avec vous les actualités qui rythment la vie de notre société savante, entre événements marquants à venir et initiatives en faveur d'une science plus ouverte.

Tout d'abord, nous sommes particulièrement fiers du succès continu de notre initiative *Subscribe to Open*, qui entame cette année sa quatrième édition. Ce modèle innovant de publication scientifique prouve que rendre la recherche mathématique accessible à tous est non seulement envisageable, mais aussi durable. Nous franchissons également une étape significative cette année avec la création du prix Jean-Pierre Demailly pour la science ouverte en mathématiques. Cette récompense, lancée conjointement avec la SMF, la SFdS et la revue epiGA, reflète notre engagement commun en faveur de la démocratisation du savoir mathématique.

Nos revues scientifiques connaissent par ailleurs un renouvellement naturel de leurs comités éditoriaux. Je tiens à exprimer nos sincères remerciements aux éditeurs en chef sortants pour leur dévouement et leur contribution essentielle au rayonnement de nos publications. Ces transitions s'inscrivent dans une continuité qui vise à maintenir l'excellence scientifique de nos revues, tout en garantissant leur accessibilité grâce au modèle *Subscribe to Open* ou par le biais de la publication via le Centre Mersenne.

En novembre, la ville de Nice accueille une nouvelle édition du *Mois des Mathématiques Appliquées et Industrielles* (M2AI), en collaboration avec le Laboratoire Jean Alexandre Dieudonné. Cet événement, qui fait suite à l'édition 2023 du LJLL à Paris, proposera quatre conférences autour du thème « Comment les mathématiques appliquées changent notre monde ! ». Les 5, 14, 20 et 28 novembre,

---

1. [samir.adly@unilim.fr](mailto:samir.adly@unilim.fr)

le public pourra explorer des sujets captivants, allant de la géométrie pulmonaire aux perspectives offertes par le calcul quantique pour l'ingénierie, en passant par l'analyse de l'activité cérébrale lors de l'écoute d'histoires. Afin de garantir un accès large à ces contenus, toutes les conférences seront diffusées en ligne en différé.

Le *Congrès des Jeunes Chercheuses et Chercheurs en Mathématiques Appliquées* (CJC-MA 2024), qui s'est tenu du 28 au 30 octobre à l'ENS de Lyon, a rassemblé des jeunes chercheurs autour d'un riche éventail thématique. L'événement s'étant déroulé la semaine dernière, nous attendons encore le bilan détaillé des organisateurs. Cet événement vise à améliorer les échanges et les interactions entre les jeunes chercheurs travaillant sur divers thèmes liés aux mathématiques appliquées et à leurs applications, tels que les probabilités, la modélisation mathématique pour la biologie, l'analyse théorique et numérique des équations aux dérivées partielles, les statistiques, les problèmes inverses et l'intelligence artificielle.

Un nouvel appel à projets BOUM a récemment été lancé. Lors de cette édition, six projets ont été retenus pour financement, illustrant la vitalité et le dynamisme des initiatives portées par nos doctorants et jeunes chercheurs. Cette action continue souligne l'engagement de la SMAI pour soutenir les projets collaboratifs émergeant de notre communauté.

Nous encourageons tous les membres à inciter leurs jeunes collègues à soumettre un projet ou à en proposer un eux-mêmes s'ils sont éligibles. Cette initiative représente une occasion unique de collaborer, d'échanger des idées et de renforcer les compétences en mathématiques appliquées.

Nous espérons voir de nombreuses propositions innovantes et inspirantes émaner de cette initiative, contribuant ainsi à l'essor et à la dynamique de notre communauté.

L'été 2025 sera marqué par une nouvelle édition du CEMRACS, centrée sur le calcul quantique. Pendant six semaines, du 15 juillet au 22 août, cet événement combinera formation et recherche autour des algorithmes quantiques et de leurs applications en cryptographie et calcul scientifique. Les participants auront l'opportunité d'explorer les aspects théoriques et pratiques de cette technologie émergente.

Notre communauté continue d'encourager l'excellence en recherche à travers différents prix scientifiques. Les jurys des prix Moreau (optimisation et analyse variationnelle), Yor (probabilités) et Blaise Pascal (analyse numérique) pour l'année 2025 sont en cours de constitution ou sont déjà constitués. Ces prix, en collaboration avec d'autres sociétés savantes et l'Académie des Sciences, soulignent notre engagement à promouvoir les contributions exceptionnelles en ma-

thématiques appliquées.

L'École Jacques-Louis Lions se tiendra à Madrid du 16 au 20 juin 2025. Ce rendez-vous hispano-français dédié à la simulation numérique en physique et ingénierie proposera des mini-cours et conférences autour de thématiques actuelles : intelligence artificielle pour les méthodes numériques, méthodes de réductions d'ordre et calcul haute performance. Dans l'esprit de collaboration franco-espagnole, l'école favorisera la parité entre les intervenants et accueillera des présentations de travaux de jeunes chercheurs.

Enfin, la biennale SMAI, qui se tiendra au Village de vacances Les Bruyères à Carcans du 2 au 6 juin 2025, rassemblera notre communauté dans un cadre propice aux échanges scientifiques. Nous vous invitons à réserver ces dates pour participer à ce moment fort de la vie de notre société.

Nos groupes thématiques continuent d'illustrer le dynamisme de notre communauté. Leurs événements attirent un public diversifié : les journées MAS, qui se sont tenues en août à Poitiers, ont réuni 150 participants pour discuter de probabilités et statistiques, tandis que les journées MODE de mars 2024 ont rassemblé autant de chercheurs autour de l'optimisation. En 2026, de nouvelles éditions se tiendront respectivement à Lyon et Nice. Le groupe SIGMA maintient également une activité soutenue avec un workshop au CIRM et prépare sa conférence « Curves and Surfaces » à Saint-Malo en 2026. Nos groupes continuent de collaborer pour enrichir la vie de notre communauté, comme en témoigne la journée commune MODE-SIGMA en janvier dernier.

Votre engagement au sein de la communauté est essentiel pour soutenir notre développement collectif. Nous vous encourageons à prendre part à nos événements, à proposer de nouvelles idées et à contribuer à l'échange de connaissances. Vos retours, suggestions et critiques sont toujours appréciés et nous nous engageons à les considérer avec attention pour améliorer nos actions en continu.

## Samir ADLY



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

**Email :** [samir.adly@unilim.fr](mailto:samir.adly@unilim.fr)

**Site web :**

[https://www.unilim.fr/pages\\_perso/samir.adly/](https://www.unilim.fr/pages_perso/samir.adly/)



# Compte rendu de l'Assemblée générale de la SMAI du 20 juin 2024

*par :*

*Marianne AKIAN<sup>1</sup> – Secrétaire générale de la SMAI*

L'assemblée générale de la SMAI s'est déroulée le jeudi 20 juin 2024 de 14h à 16h (heure de Paris) en mode hybride : en présentiel en salle Maryam Mirzakhani de l'IHP, et en visio-conférence par zoom. 22 personnes ont assisté à cette assemblée générale (12 en présentiel et 10 en visio-conférence) et 1 était représentée.

L'ordre du jour était le suivant :

- Rapport moral et vote du quitus
- Rapport financier et vote du quitus
- Vote du tarif des adhésions
- Interventions des VP
- Présentation des activités des groupes thématiques
- Proclamation des résultats des élections au Conseil d'Administration
- Questions diverses

## 1 Présentation du rapport moral

Le président, Samir Adly, a présenté le rapport moral décrivant la gouvernance de la SMAI, le nombre d'adhérents, et les différentes activités scientifiques et institutionnelles de la SMAI. Le nombre d'adhérents en 2024 est bien supérieur à celui de 2023, mais est encore inférieur à celui de 2022. Cette année était la première fois qu'une biennale SMAI était organisée dans un département d'Outre-mer. La participation locale a été remarquable, mais malgré cela, le nombre de participants a été moindre que pour une autre biennale, et l'organisation a été déficitaire. Le CEMRACS 2023 a bien eu lieu, mais il n'y aura pas de CEMRACS

1. [marianne.akian@inria.fr](mailto:marianne.akian@inria.fr)

en 2024. Un comité de recherche a été créé pour soutenir le Conseil Scientifique dans la recherche de volontaires, et nous avons une proposition pour le CEM-RACS 2025. Les autres activités récurrentes, dont certaines sont récentes, ont eu du succès comme d'habitude : CJC-MA, FEM, prix, soutien aux jeunes via les projets BOUM, et en 2024 le CANUM et les journées SMAI-MODE et SMAI-MAS. Parmi les nouveautés, on trouve le Mois des Mathématiques Appliquées et Industrielles (M2AI) dont la première édition a eu lieu en 2023, et la création du prix Jean-Pierre Demailly pour la science ouverte en mathématiques.

Le rapport moral a été approuvé à l'unanimité.

## 2 Rapport financier et vote du quitus

Catherine Choquet, trésorière, présente le rapport financier pour l'année 2023 qui comprend les comptes de résultat d'exercice et le bilan. Le résultat d'exploitation consolidé est déficitaire avec un résultat négatif de -47 545,97 euros. Ceci est dû d'une part à une participation moindre à la biennale de la SMAI 2023 et d'autre part à la baisse du nombre d'adhésions.

Le bilan consolidé des comptes a été approuvé à l'unanimité.

## 3 Vote du tarif des adhésions

Samir Adly propose la reconduction des tarifs d'adhésions 2024 pour l'année 2025. Cette proposition a été adoptée à l'unanimité.

## 4 Présentation des activités des groupes thématiques

Clément Pellegrini présente les activités du groupe SMAI-MAS, Térance Bayen celles du groupe SMAI-MODE, Gabriel Peyré celles du groupe SMAI-SIGMA (le responsable Antony Nouy étant excusé), Youcef Mammeri celles du groupe SMAI-MABIOME, et enfin Marianne Akian présente les informations fournies par Olivier Lafitte (excusé) pour le groupe SMAI-GAMNI.

## 5 Interventions des VP

Vincent Leclere, Vice-Président chargé des relations industrielles, présente les activités dans ce domaine, en particulier la recherche de volontaires pour les futurs CEMRACS.

Yann Demichel, vice-président délégué à l'Enseignement, présente les activités de la SMAI sur les questions relatives à l'enseignement, essentiellement au sein du collectif Maths & Sciences et de la Commission Enseignement. Concernant le premier point, Yann Demichel souligne la portée très politique de certains textes qui ont vivement questionné quant à leur co-signature par la SMAI. Concernant le second point, la Commission a fait des propositions d'évolution, sur sa composition (intégrer des collègues du secondaire et d'écoles d'ingénieurs) et sur les dossiers à traiter (davantage de sujets liés au supérieur : programmes, maquettes, pratiques pédagogiques). Il informe aussi que grâce à Rozenn Texier-Picard, la SMAI a de nouveau pu être présente lors des journées nationales de l'APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public) qui se sont tenues à Rennes. Enfin, Yann Demichel rappelle que la fin de son dernier mandat de vice-président arrivera à terme en juin 2025 ; il est donc urgent de penser à son renouvellement.

Amandine Véber, secrétaire générale adjointe en charge des publications, présente les activités éditoriales de la SMAI, ainsi que le nouveau prix Jean-Pierre Demailly pour la science ouverte en mathématiques.

## 6 Proclamation des résultats des élections au Conseil d'Administration

Le conseil d'administration de la SMAI est renouvelé par tiers tous les ans, ce qui correspond au renouvellement de 8 membres sur les 24 du CA. Marianne Akian, secrétaire générale, présente les élections.

Huit personnes se sont présentées pour siéger au Conseil d'Administration. Le vote s'est déroulé par voie électronique via la plateforme Belenios, du lundi 3 Juin au lundi 17 Juin 2024, et en présentiel le 20 juin 2024. Le nombre total de votants a été de 306 votants sur 910 inscrits, dont 10 votes blancs ou nuls. Les résultats sont les suivants :

- Samir Adly (sortant) : 245 voix ;
- Frédéric Barbaresco (sortant) : 203 voix ;
- Catherine Choquet (sortante) : 243 voix ;
- Benoit Liquet (sortant) : 210 voix ;
- Vanessa Lleras : 242 voix ;
- Julien Mathiaud : 211 voix ;
- Florent Nacry : 220 voix ;

- Antony Nouy (sortant) : 232 voix.

Sont déclarés élus au conseil d'administration, par ordre alphabétique : Samir Adly, Frédéric Barbaresco, Catherine Choquet, Benoit Liquet, Vanessa Lleras, Julien Mathiaud, Florent Nacry, et Antony Nouy.

Le nouveau Conseil d'Administration complet est disponible sur la page <http://smai.emath.fr/spip.php?article103>.

# Comptes rendus du conseil d'administration de la SMAI

par :

Marianne AKIAN<sup>1</sup> — Secrétaire générale de la SMAI

## COMPTE RENDU DU CA DE LA SMAI DU 28 JUIN 2024

**Présents :** M. Akian, S. Adly, F. Barbaresco, T. Bayen, S. Benzoni, P. Calka, C. Cancès, G. Chapuisat, M. Colin, A.-L. Dalibard, Y. Demichel, N. Forcadel, O. Goubet, L. Goudenège, V. Lleras, A. Nouy, F. Sueur, A. Véber.

**Représentés :** F. Charles (pouvoir C. Cancès), J. Mathiaud (pouvoir F. Sueur), F. Nacry (pouvoir S. Adly).

**Excusés :** C. Choquet, J. Delon, R. Hadiji, V. Leclere, B. Liquet, L. Weynans.

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

#### 1.1 Élection du nouveau bureau

Suite aux élections pour le renouvellement d'un tiers du CA de la SMAI, le CA comprend 3 nouveaux membres : Vanessa Lleras, Julien Mathiaud, et Florent Nacry.

Nous remercions les membres sortants : Vivien Desveaux, Roger Lewandowski, et Marguerite Zani.

Tous les membres du bureau sortants se présentent à leur renouvellement.

1. [marianne.akian@inria.fr](mailto:marianne.akian@inria.fr)

Le poste de « Vice-Président, délégué Communication et actions grand public » était vacant depuis un an. Florent Nacry, nouvellement élu, et absent excusé aujourd'hui, et ayant donné son pouvoir à Samir Adly, se présente à ce poste et Samir Adly le présente rapidement aux autres membres du CA.

A la suite d'un vote pour chacun des postes, les candidats suivants ont été élus à l'unanimité :

**Président** : Samir Adly;

**Secrétaire générale** : Marianne Akian;

**Trésorière** : Catherine Choquet;

**Vice-Président chargé des relations industrielles** : Vincent Leclere;

**Vice-Président, délégué Enseignement** : Yann Demichel;

**Vice-Président, délégué Communication et actions grand public** : Florent Nacry;

**Secrétaire générale adjointe aux publications** : Amandine Véber.

Nous rappelons que le mandat de Yann Demichel au CA finit dans un an et qu'il ne pourra pas se représenter. Il faudrait donc trouver dès maintenant un successeur pour le poste de "Vice-Président, délégué Enseignement", afin que Yann puisse aider à la transition.

Par ailleurs, Amandine Véber occupe le poste de Secrétaire générale adjointe aux publications depuis 4 ans, elle ne pourra donc plus se présenter à son renouvellement à ce poste dans un an, même si elle sera encore membre du CA, il faut donc lui trouver un successeur pour l'année prochaine.

Le CA remercie chaleureusement tous les membres du bureau précédent pour leur investissement, ainsi qu'Olivier Goubet et Anne-Laure Dalibard pour leur aide à la transition aux postes de Président et Secrétaire générale.

### 1.2 Point sur l'enseignement

Yann Demichel fait le point sur les sujets relatifs à l'enseignement.

La réforme des concours de recrutement des enseignants semble être mise à l'arrêt en raison de la dissolution de l'Assemblée Nationale. Son application généralisée dès la rentrée 2024 devient très hypothétique.

Jusqu'à présent, le report du stage pratique suite à la réussite au concours d'agrégation pouvait être demandé et accordé au motif de « Poursuite d'études doctorales », ce qui incluait la poursuite d'études en Master 2 « Recherche ». Stricto sensu le master n'étant pas un diplôme de troisième cycle, donc pas une formation doctorale, le ministère a décidé d'être plus strict et de ne plus accepter

de report de stage au titre de ce dernier motif. Le ministère a été saisi sur cette décision qui s'avère problématique pour nombre de lauréats du concours.

### 1.3 Point sur les actions grand public

Samir Adly fait le point sur les actions grand public.

Samir s'est occupé des actions grand public en cours en invitant Florent Nacry lorsque c'était possible.

Le prochain Mois des Mathématiques Appliquées et industrielles (M2AI) aura lieu à Nice en Novembre 2024. Samir a suggéré des noms de conférenciers, et Ayman Moussa a été invité dans le comité d'organisation.

### 1.4 Nouvelles des groupes thématiques

- SMAI-MODE : Térance Bayen donne des nouvelles du groupe MODE. Le comité de liaison vient d'être renouvelé et a vu l'arrivée de Claire Boyer, Mathurin Massias, et Laurent Pfeiffer. Les Journées SMAI MODE qui ont eu lieu à Lyon en mars ont rassemblé 150 participants et ont été précédées par un mini-cours sur le transport optimal. Devant le succès de la journée SIGMA-MODE de janvier 2024, le groupe MODE souhaite co-organiser de nouvelles journées avec d'autres groupes.
- SMAI-SIGMA : Antony Nouy donne des nouvelles du groupe SIGMA. Le groupe organise tous les 4 ans la conférence « *Curves and Surfaces* », la prochaine devrait avoir lieu du 8 au 12 juin 2026 à St Malo.
- SMAI-MAIRCI : le groupe n'ayant plus d'existence réelle depuis 2015, il faudrait vérifier qu'il n'existe plus d'abonnés à ce groupe parmi les adhérents, afin ensuite d'acter son arrêt définitif.

### 1.5 Point sur les publications

Amandine Véber fait le point sur les publications.

Un dépliant de présentation d'ESAIM : P&S a été préparé par EDP Sciences pour pouvoir faire un peu de publicité pour cette revue, en légère perte de vitesse. Amandine peut envoyer une version pdf à qui la veut, la SMAI peut en faire imprimer des versions papier.

Ridha Mahjoub et Nelson Maculan quittent leur fonction d'éditeurs en chef de RAIRO-OR en juillet 2024. La SMAI les remercie très chaleureusement pour toute leur expertise, leurs idées et le temps passé pour amener cette revue à

l'excellent niveau international qui est le sien à présent. La SMAI remercie également Flavia Bonomo (Université de Buenos Aires) et Safia Kedad-Sidhoum (CNAM) d'avoir accepté de prendre leur suite.

La collection de livres de niveau M<sub>1</sub> « Mathématiques appliquées pour le Master » (Dunod) ne fonctionne plus depuis plusieurs années. Le CA valide son arrêt à l'unanimité. Pour les auteurs souhaitant passer par la SMAI pour proposer un ouvrage chez Dunod, la SMAI a proposé à Dunod d'aider à assurer une relecture des ouvrages avant publication (notamment en trouvant des relecteurs pertinents).

### 1.6 Biennale 2025

---

Mathieu Colin présente l'organisation de la Biennale 2025. Celle-ci aura lieu du 2 au 6 juin, dans le centre d'hébergement de Carcans, tout comme le CANUM 2010. Le centre peut accueillir jusqu'à 300 personnes, et fournit une salle avec 200 places assises et 4 salles pour les minisymposia. La biennale est co-organisée par l'université de Bordeaux et l'Institut de Mathématiques de Bordeaux (IMB). Le comité d'organisation est fixé et a proposé 6 noms pour le comité scientifique. De son côté la SMAI propose des noms pour les 6 autres membres du CS.

### 1.7 Bilan CANUM 2024 et CANUM 2026

---

Le CANUM 2024 a été un succès avec 250 participants. Il faut maintenant trouver des volontaires pour le CANUM 2026, en faisant un appel sur la liste SMAI. Une autre possibilité serait de chercher des volontaires dans les villes qui n'ont pas encore accueilli de CANUM, telles que Dijon, Toulon ou Besançon.

### 1.8 Projets BOUM

---

La SMAI a reçu 8 propositions de projets BOUM, dont 4 BOUM au CIRM. Le CA décide de ne financer que 5 de ces projets : les 4 projets BOUM au CIRM qui sont financés en fonction de leurs demandes et de l'évaluation de leurs besoins; un autre projet BOUM qui est financé partiellement à hauteur de 500 euros, en raison du caractère récurrent de l'événement.

Les trois derniers projets n'ont pas été retenus car les projets et/ou budgets n'étaient pas assez détaillés ou clairs. Les porteurs de ces projets seront encouragés à soumettre des projets plus détaillés à l'automne.

### 1.9 FEM 2024 et 2025

---

La prochaine édition du Forum Entreprises-Mathématiques (FEM 2024) aura lieu cette année à la Villette. Jusqu'à cette année, AMIES finançait le FEM à hauteur de 60K euros, ce qui permettait de réserver la salle de la Villette (45K euros). À partir de 2025, ceci n'est plus possible, donc il faudrait soit demander une contribution à chaque laboratoire, soit trouver une salle gratuite, soit transformer le FEM en manifestation biannuelle.

### 1.10 CJC 2024

---

L'appel pour le CJC 2024 qui aura lieu à Lyon est en cours. Une convention de reversement a été signée pour leur attribuer la subvention décidée au dernier CA.

Pour le CJC 2025, cela sera peut-être à Rennes. Il faudra s'en occuper en septembre.

### 1.11 Questions diverses

---

ICM 2030 : Samir a reçu le 18 avril une demande d'avis de la part de Bertrand RÉMY, responsable du Comité National Français des Mathématiques (CNFM), concernant la candidature de la France à l'organisation du Congrès International des Mathématicien-ne-s (ICM) en 2030, et la participation éventuelle de la SMAI à cette candidature et à l'organisation. Une première discussion a été organisée en mai mais n'a pas permis de conclure. Après discussions supplémentaires, le CA conclut que les avis sont très partagés sur la candidature de la France à l'organisation de l'ICM 2030.

## 2 Points d'information

---

### 2.1 Prix Louis Bachelier

---

Le Comité de Nomination du Prix a proposé Peter Tankov comme lauréat de l'édition 2024 du Prix Louis Bachelier– Natixis-LMS-SMAI. D'après les statuts du Prix, cette nomination doit être validée par les CA de la LMS et de la SMAI. Vu les délais courts, le bureau a validé cette proposition au nom du CA de la SMAI. Peter Tankov a accepté le prix.

### 2.2 EGMO

---

Un collègue a demandé le soutien de la SMAI pour les « *European Girls' Mathematical Olympiad* » (EGMO). Le bureau a préféré ne pas apporter son soutien : les membres du bureau ne sont pas sûrs que cela va dans le bon sens (améliorer la place des Mathématiques et des filles faisant des Mathématiques).

### 2.3 Conférence France-Brésil

---

Charles Favre organise la conférence France-Brésil qui doit se tenir en juillet 2027 à CentraleParis-Supelec (la conférence a lieu tous les 3 ans) et il a demandé le soutien de la SMAI et de la SMF. Le bureau a décidé de donner son soutien pour la conférence. La SMAI sera à nouveau contactée pour proposer des noms pour le CS.

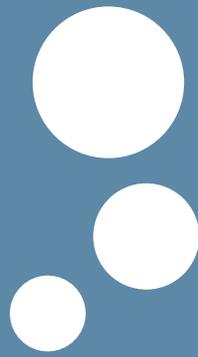
### 2.4 Dates des prochains CA de la SMAI

---

Le prochain CA aura lieu le 11 octobre à 14h, et sera précédé d'un bureau à 10h. Les deux seront en mode hybride, à l'IHP et en zoom.

D'autres réunions du bureau de la SMAI auront lieu les vendredi 20 septembre à 9h, et 22 novembre à 14h, en zoom.

# SUMMIT, partenaire des scientifiques et du milieu socio-économique



par :

Stéphane LABBÉ<sup>1</sup> — Sorbonne Université, CNRS,  
Université de Paris, Laboratoire Jacques-Louis Lions  
(LJLL), F-75005 Paris, France

*Créé en janvier 2021 par Sorbonne Université, SUMMIT a pour mission de faire rayonner les activités de recherche de l'université à travers des collaborations avec le monde industriel et académique. Grâce à de nombreux projets innovants, SUMMIT a marqué des avancées significatives en répondant aux besoins variés de ses partenaires. En s'appuyant sur la polyvalence de ses Départements Techniques, Observatoire et Société (DTOS), Mathématiques et Applications (DTMA), et Ingénierie et Systèmes (DTIS), SUMMIT a réalisé plusieurs réalisations notables en partenariat avec divers secteurs.*

## 1 Quelques exemples de missions

Les exemples choisis illustrent les trois exemples de collaborations que SUMMIT développe : les collaborations de recherche avec des acteurs du monde socio-économique, les projets universitaires financés par des organismes d'état (ANR, ERC...), les universités ou les fondations et enfin, les projets de chercheuses et chercheurs, en phase exploratoire, n'ayant pas encore de financements. Cet équilibre entre les interventions externes et internes facturées et celles en interne non facturées, permet d'assurer un équilibre financier et soutenir ainsi les projets universitaires en début de vie, favorisant ainsi l'émergence de nouveaux projets ambitieux.

Trois exemples sont présentés ici en lien avec les mathématiques dans le cadre des activités du département Mathématiques et Applications. L'un est en connexion directe avec l'industrie et porte sur l'optimisation et la mécanique des fluides, l'autre met en œuvre un projet international financé par une fondation

---

1. [stephane.labbe@sorbonne-universite.fr](mailto:stephane.labbe@sorbonne-universite.fr)

liée avec les problématiques de compréhension des changements climatiques. Enfin, un dernier met en lumière une collaboration non facturée ayant pour objectif de soutenir un projet de recherche fondamentale autour de la dynamique des gaz et ne bénéficiant pas de financements dédiés.

Ces trois projets illustrent les compétences en mathématiques appliquées développées au sein du DTMA de SUMMIT mais aussi les modes d'intervention dans la chaîne d'innovation et de recherche.

**La collaboration avec l'entreprise GTT** (Gaztransport and Technigaz) est un exemple de projet faisant intervenir des chercheuses et chercheurs dans un projet industriel de recherche : deux laboratoires sont impliqués le laboratoire Jacques-Louis Lions (UMR7598, CNRS-Sorbonne Université, Université Paris Cité) et l'Institut Jean Le Rond d'Alembert (UMR7190). Ainsi, en collaboration avec GTT, sur des idées de développements inspirées par les scientifiques impliqués et mis en œuvre par les ingénieurs de SUMMIT, des méthodes de modélisation avancées pour l'optimisation de la gestion des systèmes de stockage de gaz liquéfié ont été mises en place. Elles visent à améliorer la sécurité et l'efficacité énergétique des installations de stockage.

Cette collaboration a été construite autour d'une thèse de doctorat (soutenue en novembre 2023) et du développement d'un code de calcul (codeLMM pour code Low Mach Model) permettant de simuler des écoulements de mélanges gazeux dans les espaces d'isolation des cuves de gaz naturel liquéfié (GNL). Par cette collaboration, SUMMIT a développé une dynamique d'innovation permettant aux chercheuses et chercheurs impliqués de découvrir de nouveaux domaines d'application et de mise en œuvre de leurs recherches, et à l'entreprise de bénéficier d'une expertise la conduisant à une innovation importante pour le développement de ses recherches et de l'efficacité des services qu'elle peut proposer. Enfin, les jours de recherche facturés à l'entreprise alimentent les projets au sein du laboratoire Jacques-Louis Lions et de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert tandis que les jours d'ingénieurs SUMMIT facturés permettent de soutenir le modèle économique de la structure et ainsi accroître l'investissement au sein du cycle d'innovation de l'Alliance Sorbonne Université.

**L'exemple suivant est le projet SASIP** (Scale-Aware Sea Ice Project). Financé par la Fondation Schmidt Sciences, il fait intervenir de nombreux établissements à travers le monde et est coordonné par une équipe de l'Institut des géosciences de l'environnement (UMR5183, CNRS, Grenoble INP, INRAE, IRD, UGA) au sein de l'Université Grenoble Alpes. Sorbonne Université, via son équipe de recherche du laboratoire Jacques-Louis Lions, prend place dans le projet en développant un modèle de dynamique de la banquise à l'échelle des morceaux de plaques (floes). Ce modèle d'interaction de solides utilisant la mé-

canique non régulière prend également en compte les phénomènes de fracturation de floes. Les simulations ont pour objectif de mieux comprendre la dynamique de la banquise à un niveau macro. Elles exploitent les informations générées au niveau granulaire pour en déduire des comportements et constantes rhéologiques. Ces constantes concernent des écoulements continus basés sur des modèles de fluides non newtoniens.

Ce projet est caractéristique de ceux initiés par les besoins d'une équipe de recherche pour de la recherche amont. Dans ce cas présent l'équipe avait besoin d'ingénierie pour le développement des idées et la mise en place de plans de tests et de simulation. Ceci est mis à disposition de façon souple par SUMMIT grâce à une facturation en interne de pack de jours d'ingénieurs sur des sujets donnés.

**Le dernier projet illustre la fonction de catalyse de recherche** que SUMMIT peut jouer auprès des chercheuses et chercheurs de l'Alliance Sorbonne Université. Nathalie Ayi, enseignante-chercheuse au sein du laboratoire Jacques-Louis Lions a fait appel à SUMMIT pour développer des modèles numériques issus de ses recherches sur la cinétique des gaz. Spécialisée dans les modèles à vitesses discrètes, en particulier l'équation de Broadwell et le modèle d'Uchiyama, son travail vise à éclairer les transitions entre les descriptions microscopique, mésoscopique et macroscopique des gaz. Pour surmonter les défis théoriques liés aux recollisions de particules, elle adopte une approche numérique, permettant d'explorer ces phénomènes et leurs implications de manière approfondie. Les ingénieurs SUMMIT ont réécrit un code de calcul développé par Nathalie Ayi afin d'avoir des performances suffisantes pour tirer des résultats de calcul des informations pertinentes selon un cahier des charges de performances clairement formulé. Ce type de collaboration est un maillon essentiel de la recherche, du processus d'innovation, car il permet aux chercheuses et chercheurs de se concentrer sur le cœur de leurs projets en s'appuyant sur le support offert par SUMMIT en matière de développement.

À titre de complément d'illustration, nous pouvons citer deux autres collaborations autour de sujets mathématiques. Le premier est une collaboration avec Bouygues Télécom dans laquelle a activement participé l'Institut de Mathématiques de Jussieu – Paris Rive Gauche (UMR7586, Sorbonne Université, CNRS, Université Paris-Cité) sur une problématique de modélisation du marché des télécommunications grâce à des concepts tirés de la théorie des Jeux. Le second est une collaboration avec la Mutuelle GSMC sur l'apprentissage statistique pour la classification des clients dans le domaine des assurances, étude autour des concepts d'IA menée en synergie avec SCAI.

## 2 Vers une collaboration renforcée

Les réalisations de SUMMIT démontrent l'intégration réussie des compétences des différentes facultés de Sorbonne Université, ainsi que sa capacité à établir des ponts entre la recherche académique et le monde industriel.

La structure, au service de la recherche au sein de l'Alliance Sorbonne Université, s'intègre dans le fonctionnement global de l'innovation de Sorbonne Université en se mettant au service des laboratoires et en utilisant les compétences des plateformes technologiques pour remplir ses missions. Ainsi, SUMMIT est en étroite relation de collaboration avec le FabLab dont le matériel permet de passer à l'échelle sur les projets mais aussi d'accompagner des équipes autour de projets techniques demandant, par exemple, l'utilisation de méthode d'impression 3D.

La prochaine étape importante dans l'évolution de la structure sera son intégration à la Cité de l'Innovation Sorbonne Université pour être au plus proche de l'interface entre monde socio-économique et universitaire. Ce projet permettra de renforcer les liens de SUMMIT avec des acteurs majeurs que sont la SATT Lutech, Agoranov ou le programme Pépite.

En renforçant ses collaborations avec le monde socio-économique et en s'ouvrant à de nouveaux domaines tels que l'intelligence artificielle et la science des données. SUMMIT s'inscrit résolument dans une dynamique d'avenir. L'objectif est de continuer à offrir des solutions innovantes répondant aux défis contemporains, tout en valorisant l'expertise académique de Sorbonne Université.

### Stéphane LABBÉ



Stéphane LABBÉ est Professeur au sein de Sorbonne Université et directeur de l'Unité de Services Mutualisée SUMMIT.

**Email :** [stephane.labbe@sorbonne-universite.fr](mailto:stephane.labbe@sorbonne-universite.fr)

**Site web :** [summit.sorbonne-universite.fr](http://summit.sorbonne-universite.fr)

# MathALÉA, un moteur pour générer aléatoirement des énoncés corrigés

*par :*

*L'équipe de développement de MathALÉAS*

Les membres de l'association *Coopmaths* ont créé la plateforme MathALÉA pour favoriser le travail sur les automatismes.

## 1 Les automatismes, un élément pédagogique essentiel

Mobiliser régulièrement<sup>1</sup> des connaissances, même hors contexte, permet de mémoriser durablement des notions en cours d'acquisition et de les consolider. Ces pratiques rituelles en classe, même de courte durée, permettent de diagnostiquer des erreurs persistantes et de rythmer les séances en classe. Les spécialistes en sciences cognitives confirment d'ailleurs que, pour que des notions s'ancrent dans la durée dans le cerveau, il faut répéter régulièrement les mêmes types d'exercices, dans la durée, avec des espacements réguliers<sup>2</sup>.

Cela constitue dorénavant un objectif majeur pour la grande majorité des enseignants, confortés en cela par les textes officiels<sup>3</sup> qui accordent une part importante à la pratique d'activités rituelles permettant de développer des automatismes en mathématiques.

## 2 La contrainte des ressources pédagogiques

Pour un enseignant, créer l'ensemble des exercices nécessaires à ces activités rituelles, est un travail titanesque, chronophage et répétitif. Un travail de mu-

1. Dans le paragraphe « élaboration d'un calendrier » des éléments de régularité sont illustrés.

2. « Les automatismes au collège » page 6, document eduscol, <https://eduscol.education.fr/document/33866/download>

3. « Les automatismes au lycée », document eduscol, <https://eduscol.education.fr/document/24577/download>

tualisation des exercices est essentiel, tant pour faire gagner chacun en efficacité que pour profiter collectivement des idées d'une communauté.

Pour autant, aussi nombreuses qu'elles soient, ces ressources nécessitent encore ensuite un travail d'adaptation de la part de chaque enseignant pour les utiliser avec ses propres classes, en fonction des différents scénarios pédagogiques.

D'autre part, les apprenants désireux de s'entraîner par eux-mêmes n'ont pas facilement accès à des ressources validées par l'enseignant. C'est pourtant une piste intéressante que le professeur permette à ses étudiants de poursuivre en autonomie les activités réalisées en TD, afin précisément d'acquérir des automatismes. Sinon, le risque est grand de laisser les étudiants chercher par eux-mêmes sur internet de quoi s'entraîner, sans garantie de la qualité ni de la pertinence des ressources.

Enfin, et ce détail n'est pas le moindre, l'accès à la correction de ces exercices, à une rétro-action rapide, est essentiel. Bien entendu, la correction a pour fonction première de permettre à l'étudiant de vérifier si sa réponse à la question ou son résultat sont corrects. La fonction d'explication reste primordiale, et pourra être assurée par le professeur, un autre étudiant, ou le renvoi éventuel à un document de correction plus détaillée.

## 3 MathALÉA

C'est pour répondre à cette problématique, comme l'article de 2021 l'explique, que MathALÉA<sup>4</sup> a vu le jour. Aujourd'hui, notre plateforme contient plus de deux mille exercices aléatoires en accès gratuit avec un code libre, sans publicités ni identifiants, du primaire au niveau universitaire.

Le rythme de progression du site, d'amélioration des exercices et de développement des ressources est impressionnant. Pour gérer le projet et assumer tant la maintenance que la poursuite du développement, l'association *Coopmaths*<sup>5</sup> a été créée en décembre 2023.

### 3.1 Le principe de MathALÉA

À partir du site MathALÉA, <https://coopmaths.fr/alea/>, sélectionnons un **exercice sur la détermination d'un triangle rectangle** :

4. <https://coopmaths.fr/alea>

5. <https://coopmaths.fr/www/>.

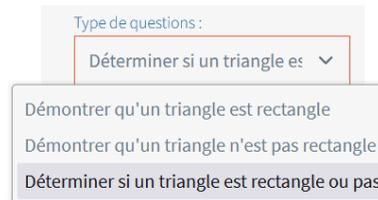
## 4G21 - Déterminer si un triangle est rectangle ou pas

[Nouvel Énoncé](#)
[Voir la correction](#)


[+](#)

Le triangle  $UVW$  est tel que  $VW = 8$  cm,  $UV = 15$  cm et  $UV = 17$  cm.  
Ce triangle est-il rectangle ?

- En cliquant sur « Nouvelles données », il est possible d'obtenir un nouvel énoncé, avec des données *aléatorisées*. Le paramétrage a été effectué par des enseignants, en exercice, à destination de leurs élèves. Il s'agit donc d'un aléatoire « intelligent » correspondant aux situations utiles pédagogiquement.
- En cliquant sur « Paramètres », il est possible de modifier des variables didactiques (par exemple dans cette situation, Choisir le cas de la contraposée uniquement, de la réciproque, ou un mélange).



- En cliquant sur « Correction », le corrigé détaillé est affiché :

## 4G21 - Déterminer si un triangle est rectangle ou pas

[Nouvel Énoncé](#)
[Masquer la correction](#)


[+](#)

Le triangle  $UVW$  est tel que  $VW = 8$  cm,  $UV = 15$  cm et  $UV = 17$  cm.  
Ce triangle est-il rectangle ?

## Correction

Dans le triangle  $UVW$ , le plus grand côté est  $[UV]$ .

$$UV^2 = 17^2 = 289$$

$$UV^2 + VW^2 = 15^2 + 8^2 = 289$$

On constate que  $UV^2 = UV^2 + VW^2$ , l'égalité de Pythagore est vérifiée.

D'après la réciproque du théorème de Pythagore, le triangle  $UVW$  est rectangle en  $W$ .

### 3.2 Une multitude de sorties possibles

Une fois la ressource sélectionnée et bien paramétrée, l'enseignant peut décider de l'inscrire dans une multitude de situations pédagogiques différentes. Pour faciliter cela, MathALÉA permet de nombreuses sorties possibles :

- Diaporama à vidéoprojecter en classe pour des questions flash.
- Format PDF pour des fiches d'exercices, plans de travail ou évaluations papier.
- Exercices interactifs en ligne : via un lien, un *QRCode*, auxquels on peut ajouter ses propres ressources : leçons, capsules vidéo, ...
- Questionnaire AMC<sup>6</sup> qui utilise un programme, disponible uniquement sous Linux, qui corrige automatiquement des sujets à questions à choix multiples, avec scan des copies papier d'étudiants.

Il est bien sûr possible de sauvegarder les listes d'exercices paramétrées, via un outil externe de gestion des liens, avec les mêmes valeurs ou avec des valeurs différentes, ainsi que le format choisi (diaporama, liste d'exercices en ligne, ...)

### 3.3 Récupérer les résultats de ses apprenants

La plateforme MathALÉA ne récupère, par choix, aucune donnée de ses utilisateurs. Il n'est donc pas possible de suivre le travail de ses élèves, d'obtenir des résultats, d'observer la progressivité sur des exercices répétés.

MathALÉA est toutefois disponible via Moodle et Capytale<sup>7</sup>, qui permettent aux enseignants de programmer des séances et de récolter les résultats de ses apprenants, avec des exercices interactifs (voir figure 1).

Cette fonctionnalité est très utile pour analyser les résultats, travailler sur l'erreur, permettre des remédiations, donner des explications adaptées à des situations mal comprises par certains.

### 3.4 Quelques exemples d'utilisations

**Création d'exercices en vue d'une préparation à une évaluation :** L'enseignant peut en amont d'une évaluation sur des automatismes, paramétrer son sujet avec MathALÉA et en proposer une version aléatoirisée, via un lien, un *QRCode*, à ses étudiants. Ce type d'évaluation par « contrat de

6. <https://www.auto-multiple-choice.net/index.fr>

7. <https://capytale2.ac-paris.fr/web/accueil>

Élève	Classe	Éval. ens.	Éval. auto.	Ex.1	Ex.2	Ex.3
██████████	2F	2	2/4	1 / 1	- / 1	1 / 2
██████████	2F	3	3/4	1 / 1	1 / 1	1 / 2
██████████████████	2F	4	4/4	1 / 1	1 / 1	2 / 2
██████████████████	2F	4	4/4	1 / 1	1 / 1	2 / 2
██████████	2F	4	4/4	1 / 1	1 / 1	2 / 2
██████████████████	2F	1	1/4	- / 1	- / 1	1 / 2
██████████	2F	4	4/4	1 / 1	1 / 1	2 / 2
██████████	2F	4	4/4	1 / 1	1 / 1	2 / 2
██████████	2F	3	3/4	1 / 1	- / 1	2 / 2

FIGURE 1 — Illustration du suivi des résultats des élèves.

confiance » permet aux apprenants de cadrer leur préparation, de leur donner des outils pour se préparer en confiance.

**Création d'exercices d'application en multiples versions :** Une situation que permet facilement MathALÉA est de créer des séries d'exercices identiques en trois ou quatre versions différentes. Il peut alors être pertinent de faire travailler les étudiants en groupes, avec des problématiques identiques mais des données différentes.

Les échanges entre les apprenants ne peuvent plus reposer sur des échanges de résultats puisque les valeurs sont différentes.

La correction centrale au tableau par l'enseignant devient peu opérante, on peut, ou non, associer à cette pratique, une table d'appui avec les corrections accessibles en papier, proposer un QRcode qui envoie aux corrections.

**Création d'exercices avec des niveaux de difficultés différentes :** Une autre déclinaison est de proposer des exercices sur les mêmes notions avec des difficultés différentes. En effet, de nombreux exercices de MathALÉA sont paramétrables.

Par exemple pour le développement des identités remarquables, un même exercice permet de moduler l'identité travaillée et les coefficients utilisés. En jonglant avec ces éléments, il est possible de graduer la difficulté d'apprentissage, de proposer des situations adaptées à des publics différents.

Type de questions :

4

Co

Sér

1 : (a+b)<sup>2</sup>  
 2 : (a-b)<sup>2</sup>  
 3 : (a+b)(a-b)  
 4 : Mélange

Niveau de difficulté :

Coefficient de x égal à 1

Coefficient de x égal à 1

Coefficient de x supérieur à 1

Coefficient de x rationnel

Mélange des cas 1 et 2

**Projection de questions Flash :** En début de TD, un enseignant peut facilement projeter au tableau quelques questions sélectionnées auparavant, pour faire travailler des rituels à ses étudiants.

**1**

Résoudre l'inéquation suivante.

$$(-2x + 12)(-13x + 6) > 0$$

**2**

Résoudre l'inéquation suivante.

$$(3x - 5)(9x + 8) \leq 0$$

Ici, l'enseignant à choisi de doubler les énoncés pour que deux voisins n'aient pas le même sujet.

La correction détaillée, qui sert de validation peut être projetée, de sorte que cette activité ne dure que quelques minutes en début de séance, sous forme de réactivation de savoirs.

**1**

Résoudre l'inéquation suivante.

$$(-2x + 12)(-13x + 6) > 0$$

$(-2x + 12)(-13x + 6) > 0$   
 $-2x + 12 > 0$  si et seulement si  $x < 6$   
 $-13x + 6 > 0$  si et seulement si  $x < \frac{6}{13}$

On peut donc en déduire le tableau de signes suivant :

x	$-\infty$	$\frac{6}{13}$	6	$+\infty$
$-2x + 12$	+	+	+	-
$-13x + 6$	-	+	-	-
$(-2x + 12)(-13x + 6)$	-	+	-	+

L'ensemble de solutions de l'inéquation est  $S = ]-\infty; \frac{6}{13}[ \cup ]6; +\infty[$ .

**2**

Résoudre l'inéquation suivante.

$$(3x - 5)(9x + 8) \leq 0$$

$(3x - 5)(9x + 8) \leq 0$   
 $3x - 5 > 0$  si et seulement si  $x > \frac{5}{3}$   
 $9x + 8 > 0$  si et seulement si  $x > -\frac{8}{9}$

On peut donc en déduire le tableau de signes suivant :

x	$-\infty$	$-\frac{8}{9}$	$\frac{5}{3}$	$+\infty$
$3x - 5$	-	-	-	+
$9x + 8$	-	+	+	+
$(3x - 5)(9x + 8)$	+	-	-	+

L'ensemble de solutions de l'inéquation est  $S = \left[ \frac{5}{3}; \frac{8}{9} \right]$ .

L'équipe de MathALÉA a été séduite par le concours *La course aux nombres*<sup>8</sup>, soutenu par onze académies et l'APMEP. La plateforme permet de décliner au quotidien le principe du concours, basé sur des questions auxquelles les élèves doivent répondre en temps limité, sans calculatrice, ni brouillon.

**Course aux nombres :**

Ici, une capture d'une *Course aux nombres*. L'étudiant bénéficie d'un clavier adapté pour répondre, une *time-line* lui indique en haut de l'écran le temps qui lui reste, ainsi que le numéro de question qu'il traite, et ce qu'il lui reste.

L'enseignant peut sélectionner le nombre de questions et le temps de l'épreuve pour l'adapter à ses choix pédagogiques.

Différents scénarios sont possibles pour intégrer une course aux nombres en TD :

- Il est possible, afin de travailler sur les erreurs dans la durée, de proposer par exemple cinq questions différentes de calcul mental, que l'enseignant propose pendant 4 à 6 semaines consécutives.
- Une autre déclinaison qui peut s'avérer intéressante dans des situations encore mal maîtrisées, est de proposer une série de questions, que l'on corrige collectivement, pour en comprendre les stratégies.
- Puis de redonner, dans la foulée, par un simple clic sur « Nouvelles données », la même série, pour que chaque étudiant puisse vérifier instantanément s'il a bien compris.

**Création de Devoirs Hors Classe :** Via Moodle et Capytale, évoqués précédemment, il est possible de partager un lien avec des exercices interactifs portant sur des points du programme que l'on souhaite faire travailler. Les options :

8. <https://pedagogie.ac-strasbourg.fr/mathematiques/competitions/course-aux-nombres/>

- « Interactivité » qui permet aux apprenants de répondre directement en ligne,
- « Les élèves peuvent répondre plusieurs fois » qui permet aux étudiants de refaire les exercices avec de nouvelles données,
- « Tous les élèves auront des pages différentes », pour avoir des données différentes pour chaque étudiant afin d'éviter la copie,
- « Accès aux corrections » pour permettre aux étudiants de voir le corrigé permettent d'envisager de nombreux scénarios pédagogiques.

**Élaboration rapide d'un calendrier de réactivation :** Enfin, pour travailler la mémorisation des essentiels, les exercices de MathALÉA sont aussi très pratiques. On peut par exemple, en début d'année, préparer un calendrier ciblant chaque semaine 2 ou 3 exercices, que l'on reprend ensuite de manière de plus en plus espacée. Il faut un peu de temps pour bien faire sa sélection mais cela facilite la préparation des séances tout au long de l'année. En début de semaine, l'enseignant regarde son calendrier, assemble les questions de la semaine sur MathALÉA, génère autant de versions du diaporama de questions flash que de séances, puis les donne à ses étudiants. En TD, le début de séance est alors consacré à répondre à ces questions.

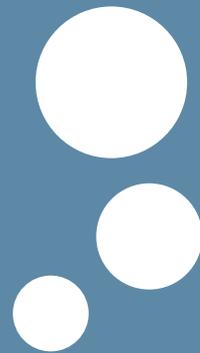
## 4 Plein de projets à venir

Le moteur MathALÉA, bien que tout jeune, offre déjà beaucoup de possibilités pour travailler les automatismes. Les idées de développement et d'améliorations ne manquent pas. Une idée, un bug repéré, une question, des idées d'exercices ? N'hésitez pas à prendre contact avec nous. Nous cherchons d'ailleurs des collaborateurs pour proposer des exercices de niveau post-bac.

## 5 Références

- Angot R., « MathALÉA, un générateur d'exercices à données aléatoires », in APMEP *Au fil des maths*. N° 541. 23 décembre 2021, <https://afdm.apmep.fr/rubriques/eleves/mathalea-un-generateur-dexercices-a-donnees-aleatoires/>.
- Bruel C., Locatelli E., « MathALÉA, un générateur d'exercices à données aléatoires », in APMEP *Au fil des maths*. N° 552.

# Codes et données de la recherche en mathématique : les enjeux de la science ouverte



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

*Violaine LOUVET<sup>1</sup> — Laboratoire Jean Kunzmann*

*Article également paru dans le numéro 180 de la Gazette en avril 2024.*

## 1 Introduction

---

L'ouverture de la science est devenue aujourd'hui un mouvement mondial qui redéfinit les pratiques de recherche et concerne tous les types de production scientifique : les publications en premier lieu, mais également depuis quelques années les données, et à travers un historique beaucoup plus riche, les logiciels.

Toutes les disciplines scientifiques sont concernées même si les pratiques peuvent être très différents de l'une à l'autre.

Ce mouvement s'accompagne d'un foisonnement d'initiatives qui enrichissent l'écosystème de la recherche mais en complexifient le paysage pour les communautés scientifiques.

L'objectif est ici de faire une synthèse non exhaustive, pour la communauté mathématique, de l'environnement de la science ouverte autour des données et des codes de la recherche.

Pour les personnes pressées, vous trouverez la partie la plus pratique dans la dernière section 7.

Pour les autres, nous allons d'abord aborder les enjeux de la science ouverte et du partage des connaissances, puis nous ferons un tour d'horizon succinct de l'écosystème actuel qui nous amènera à détailler les évolutions engendrées pour les communautés scientifiques. Nous évoquerons la question complexe de la reproductibilité. Enfin les aspects très concrets de mise en oeuvre seront détaillés dans la dernière partie.

---

1. [violaine.louvet@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:violaine.louvet@univ-grenoble-alpes.fr)

## 2 Enjeux

Les enjeux de la science ouverte sont multiples, et en tout premier lieu concernent la transparence et la confiance en la recherche.

Le développement d'une recherche plus cumulative où de nouvelles approches scientifiques peuvent être développées grâce à la réutilisation de résultats scientifiques est également un défi majeur qui implique de pouvoir disposer librement, outre des publications, mais aussi des données et des logiciels qui les ont permises. Cette évolution impacte le travail au quotidien des chercheurs.

Concernant plus spécifiquement la communauté mathématiques, une enquête<sup>2</sup> menée par le groupe « Données-Codes Maths »<sup>3</sup> montre d'une part que la compréhension de la notion de données de recherche est très diverse, et d'autre part que la problématique des codes de recherche est beaucoup plus partagée.

La sensibilisation autour du sujet des données de la recherche est donc un vrai challenge, d'autant que les chercheurs sont depuis quelques années confrontés à des obligations, comme les plans de gestion de données, parfois incomprises (point abordé en 5).

La problématique autour des codes de recherche est beaucoup mieux appréhendée. L'ancrage dans le logiciel libre des développements réalisés dans les laboratoires de recherche est indéniable, fortement couplée à un historique qui trouve son origine dans le milieu universitaire : le logiciel libre est né au MIT et s'est inscrit dès le départ dans la nécessité du partage mais aussi de la mise en commun des contributions. En ce sens, le logiciel libre est un précurseur de la science ouverte telle qu'elle se définit actuellement.

Un des points clé concernant ces productions scientifiques hors publications est relatif à la mise en visibilité des données et des codes afin de permettre leur citation, leur valorisation et leur réutilisation. Le baromètre de la science ouverte<sup>4</sup>, qui quantifie les publications en accès ouvert, a depuis peu été élargi aux données et aux logiciels, et témoigne d'un début de changement dans les pratiques de recherche, en terme d'ouverture des données en particulier. L'application des principes FAIR<sup>5</sup>, Findable, Accessible, Interoperable, Reusable, aux données de recherche en est à ses débuts mais l'évolution semble inéluctable pour répondre aux exigences de la science ouverte.

Le baromètre confirme également l'importance des codes comme pilier de la recherche, et ce quelle que soit la discipline scientifique.

---

2. <https://codes-donnees.math.cnrs.fr/enquete2022.html>

3. <https://codes-donnees.math.cnrs.fr/>

4. <https://barometredelascienceouverte.esr.gouv.fr/>

5. [https://doranum.fr/enjeux-benefices/principes-fair\\_10\\_13143\\_z7s6-ed26/](https://doranum.fr/enjeux-benefices/principes-fair_10_13143_z7s6-ed26/)

Le paysage de la recherche se structure progressivement pour répondre à ces enjeux.

### 3 Données de la recherche, codes, de quoi parle-t-on ?

L'OCDE définit les données de recherche<sup>6</sup> comme des enregistrements factuels (chiffres, textes, images et sons), qui sont utilisés comme sources principales pour la recherche scientifique et sont généralement reconnus par la communauté scientifique comme nécessaires pour valider des résultats de recherche.

En particulier les publications ne sont pas des données de recherche.

Il existe plusieurs types de données de recherche : données d'observation (par exemple relevés de capteurs, enquêtes), données expérimentales (par exemple générées par un équipement en laboratoire), données de simulation, données dérivées ou compilées (issues de traitements), données de référence (par exemple collection de données revues et annotées comme des archives d'images historiques).

Il existe donc peu de données de recherche propres aux mathématiques en dehors des données de simulation. Par contre, certaines données d'autres disciplines scientifiques intéressent plusieurs domaines des mathématiques comme base de travail pour développer de nouvelles approches d'analyses statistiques ou de modélisation par exemple. Si ces données doivent être prise en compte dans la gestion d'un projet de recherche, et donc en particulier apparaître dans un plan de gestion des données (voir la section 5.1), il est de la responsabilité de leur producteur, donc la personne qui les a collectées ou créées, d'assurer leur diffusion.

Concernant les codes de recherche, le collège logiciels et codes sources du comité pour la science ouverte propose la définition suivante<sup>7</sup> : *Les logiciels de recherche sont développés pour répondre à des besoins spécifiques de la science. Ils sont conçus, maintenus, et utilisés par des scientifiques (chercheurs et ingénieurs) et institutions de recherche, éventuellement dans une dimension internationale. Ils peuvent découler de travaux de recherche comme ils peuvent les favoriser, notamment par des publications avant/sur/autour/avec le logiciel. Ceux-ci peuvent se formaliser de différentes façons (une plateforme, un intergiciel, un workflow ou une bibliothèque, module ou greffon d'un autre logiciel) et être ainsi en interaction dans un écosystème ou au contraire plus autonomes.*

6. <https://web-archiv.e.oecd.org/fr/2018-04-10/137520-38500823.pdf>

7. <https://www.ouvrirelascience.fr/le-logiciel-de-recherche-un-pilier-de-la-recherche-scientifique-ouverte/>

Le lien avec les publications scientifiques est donc important, et une importante diversité de type de codes est considérée.

La question des critères minimaux pour partager et diffuser un code de calcul est plus complexe : est-ce qu'un petit script pour valider la pertinence d'un modèle ou pour analyser des données doit être ouvert et diffusé ?

La réponse est du ressort du scientifique auteur du code, et il peut prendre en compte plusieurs éléments pour l'aider à identifier la pertinence de le distribuer :

- Est-ce que le code est essentiel à la publication scientifique qu'il a permise ?
- Est-ce que le code peut-être réutilisé pour reproduire le résultat ou conduire à d'autres recherches ?
- Est-ce que le code peut servir de base à d'autres contributions, éventuellement dans des contextes de recherche différents ?
- ...

## 4 Paysage de la science ouverte autour des données et des codes

### 4.1 Au niveau national

Depuis quelques années au niveau national, plusieurs textes fondateurs fixent les attendus en matière de science ouverte.

Citons par exemple la loi pour une république numérique (2016) dont l'article 38 pose que les données de la recherche, produites par les chercheurs dans le cadre de leurs activités de recherche et qui ne portent pas atteinte à la protection de la vie privée ou au secret des affaires doivent être mises en ligne par les universités et organismes dont ceux-ci dépendent. En effet, la propriété des données de recherche revient à l'employeur du chercheur.

Par ailleurs, le Plan National de la Science Ouverte (PNSO<sup>8</sup>, 2018) fixe les ambitions d'ouverture des résultats de la science en rendant obligatoire la mise en libre accès des publications et des données de recherche financées par des fonds publics, auxquelles s'ajoute, dans sa deuxième version en 2021, la prise en compte des codes sources produits par la recherche. Le PNSO acte également la création de la plateforme nationale fédérée des données de la recherche : Recherche Data Gouv, dont nous reparlons en section 7.

8. <https://www.ouvrirelascience.fr/deuxieme-plan-national-pour-la-science-ouverte/>

En France, le comité pour la science ouverte (COSO<sup>9</sup>) porte la politique du ministère sur ces questions. Il est constitué en collèges (publications, données de la recherche, europe et international, compétences et formation, codes sources et logiciels) qui proposent des orientations dans leur périmètre respectif.

### 4.2 Au niveau européen

Au niveau européen, la commission impulse depuis 2016 l'European Open Science Cloud (EOSC<sup>10</sup>) qui se construit comme un réseau d'infrastructures visant à répondre aux besoins des chercheurs en matière de science ouverte. Il s'agit d'agrèger des infrastructures existantes de façon à proposer un espace européen autour des données et des services. L'EOSC est très peu lisible pour les chercheurs, l'approche est globale et tend au développement d'une méta-organisation d'infrastructures interopérables des différentes communautés.

Les mathématiques sont très peu présentes au niveau de l'EOSC. Par contre, au niveau national, la PLM (plateforme en Ligne Mathrice<sup>11</sup>), portée par le réseau des informaticiens des laboratoires de mathématiques Mathrice<sup>12</sup>, et soutenu par l'INSMI (CNRS Mathématiques), proposent à la communauté de nombreux services adaptés à ses besoins (rédaction collaborative en LaTeX, stockage partagé, déploiement d'applications, forge logicielle, ...).

### 4.3 Au niveau international

Au niveau international, il existe de nombreuses initiatives autour de la science ouverte. L'une d'entre elles, la Research Data Alliance (RDA<sup>13</sup>), est particulièrement intéressante : née de la volonté de partager les pratiques autour des données de recherche, cette organisation regroupe une communauté interdisciplinaire très large et aborde une multitude de sujets à travers de nombreux groupes de travail.

Ce foisonnement d'activités autour des données de la recherche met en exergue des difficultés majeures autour de la problématique du travail et de l'expertise nécessaire à la production de données de qualité et réutilisables, qui amène naturellement à la question de l'évolution nécessaire de l'évaluation de la recherche. La Coalition for Advancing Research Assessment (COARA<sup>14</sup>) en par-

9. <https://www.ouvrirlascience.fr/>

10. <https://eosc-hub.eu/>

11. <https://services.math.cnrs.fr/>

12. <https://www.mathrice.fr/>

13. <https://rd-alliance.org/>

14. <https://coara.eu/>

ticulier s'est emparée de ce sujet et plusieurs centaines d'organisations (dont le CNRS et de nombreuses universités françaises) ont déjà signé le texte proposé.

Le mouvement international de la science ouverte pour toute production scientifique est donc protéiforme, et porté aussi bien par les communautés scientifiques que par les politiques, mais aussi par les financeurs de la recherche, qui intègrent en particulier dans leur démarche des obligations pour les porteurs de projets.

## 5 Evolutions pour les communautés scientifiques

Les exigences en matière d'ouverture sont devenues importantes et incontournables. Les financeurs de la recherche, notamment l'ANR et la commission européenne, matérialisent en particulier ces attentes à travers la demande d'un plan de gestion de données pour chaque projet financé, et évidemment l'ouverture de toutes les productions scientifiques pertinentes (publications, données, codes) à l'issue du projet.

### 5.1 Plan de gestion des données

Un plan de gestion de données (PGD ou Data Management Plan, DMP) est un document qui permet d'anticiper, à l'échelle d'un projet de recherche (mais aussi d'un laboratoire, d'une plateforme, ...), la façon dont seront gérées les données pendant toute la durée du projet, et au-delà.

Une première version est en général attendue dans les six mois après le démarrage, puis des mises à jour en milieu et en fin de projet.

En dehors du livrable pour le financeur, ce document est en soi une véritable aide pour l'ensemble des partenaires afin d'aborder toutes les questions à la fois scientifiques, techniques et juridiques relatives aux données qui seront manipulées au cours du projet. Par exemple, il permet d'identifier où stocker les données au cours du projet, comment les partager pour que chaque partenaire puisse y accéder, comment les sécuriser pour éviter de les perdre, comment gérer les données à caractère personnel si il y en a, et à la fin du projet, identifier les données à ouvrir et où les diffuser.

Dans certains domaines des mathématiques, aucune donnée n'est manipulée, et le format du plan de gestion de données n'est pas adapté. Cette réalité est parfois incomprise des personnes qui accompagnent à la rédaction des plans de gestion des données, il est donc important de bien expliquer les spécificités de nos disciplines.

Par ailleurs, le plan de gestion de données doit aussi être l'occasion de considérer la façon dont seront gérés les développements logiciels du projet. Même si le format actuel des modèles existants n'est pas approprié, une réflexion en amont entre tous les partenaires sur la forge logicielle à utiliser, des règles de gestion des contributions, des règles de programmation, la ou les licences, ... ne peut que faciliter le déroulé global du projet, et la pérennisation des développements réalisés.

Il faut noter que les plans de gestion logiciels tendent à se développer, il est fort probable qu'à l'avenir une approche inclusive comprenant à la fois les données et les logiciels soit proposée.

L'outil DMPOpidor<sup>15</sup> facilite la réalisation de plan de gestion de données en proposant des modèles et une interface pour créer en ligne son propre plan.

## 5.2 Obligations d'ouverture

Les données de recherche n'entrent en général pas dans le cadre du droit d'auteur et sont propriétés de l'établissement employeur, comme indiqué en 4.1. Si elles sont issues d'une activité de recherche financée au moins pour moitié par des fonds publics, la loi pour une république numérique de 2016 prévoit leur libre réutilisation, à l'exception de certains types de données (secret de la défense nationale, risques pour la sécurité, secret professionnel ou des affaires, données à caractère personnel ...)<sup>16</sup>.

Les financeurs de la recherche promeuvent cette ouverture selon le principe « aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire »<sup>17</sup>.

Toutes les données n'ont pas vocation à être diffusées. Il est important d'anticiper un processus de sélection des données pertinentes, et surtout à les rendre réellement réutilisables sans frein scientifique ou technique, selon les principes FAIR. Il ne faut pas négliger le coût environnemental et économique de la science ouverte, d'autant que les données, contrairement aux publications et aux codes sources, peuvent avoir des volumétries non négligeables.

Une autre évolution majeure concerne les éditeurs qui imposent de plus en plus souvent l'accès aux données de recherche ayant conduit à la publication. Si c'est un point positif qui va dans le sens d'une amélioration de la reproductibilité des résultats, il faut rester vigilant sur la façon de diffuser ces données et ne

15. <https://dmp.opidor.fr/>

16. Voir le guide juridique sur l'ouverture des données de la recherche <https://www.ouvrir.lascience.fr/ouverture-des-donnees-de-recherche-guide-danalyse-du-cadre-juridique-en-france-v2/>

17. <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/science-ouverte-la-feuille-de-route-du-reseau-des-agences-de-financement-pour-lannee-2023/>

pas tomber dans le piège des entrepôts contrôlés par les éditeurs eux-mêmes, d'autant qu'il existe désormais des alternatives.

Tous ces éléments visent à répondre aux enjeux de la transparence, de la réutilisabilité et de la reproductibilité de la recherche.

## 6 Défis de la Reproductibilité

La notion de reproductibilité est complexe et sa définition n'est pas stabilisée à l'échelle internationale. Elle est aussi très dépendante de la communauté scientifique considérée.

C'est cependant un élément majeur pour aller dans le sens d'une plus grande transparence de la recherche.

Une des conditions nécessaire mais non-suffisante pour assurer la reproductibilité du résultat scientifique d'une publication est la mise à disposition ouverte du logiciel et des données ayant permis ce résultat.

La réutilisabilité des données et des codes est un enjeu majeur pour la reproductibilité.

On retrouve ainsi quelques éléments des concepts de FAIR : Findable, Accessible, Interoperable, Reusable, mentionnés ci-dessus.

On peut distinguer plusieurs concepts essentiels<sup>18</sup> (dont la définition peut varier) :

- Ré-exécutable. Pouvez-vous relancer votre programme ? Dans un jour, une semaine, un mois, un an ?
- Répétable. Pouvez-vous relancer votre programme et obtenir les mêmes résultats ? Est-ce que vous sauvegardez tout ce qui est nécessaire, y compris les « graines aléatoires » ?
- Reproductible. Est-ce que quelqu'un d'autre peut relancer votre programme et obtenir les mêmes résultats ? Est-ce que vous sauvegardez la pile logicielle ?
- Répliquable. Est-ce que quelqu'un d'autre peut réécrire votre modèle et obtenir les mêmes résultats ? Est-ce que vous décrivez tous les éléments ?
- Réutilisable. Est-ce que quelqu'un d'autre peut utiliser votre programme avec des données différentes ? Est-ce que votre logiciel est dépendant des données ?

---

18. cf K. Hinszen, ReScience, 2017

Pour répondre à ces besoins de reproductibilité, la diffusion du code en licence libre est une première étape incontournable pour assurer son accessibilité. Mais c'est évidemment loin d'être suffisant, en particulier quand on considère que le code s'exécute dans un environnement complexe dont les dépendances ne sont pas réellement maîtrisées.

La mise en œuvre de bonnes pratiques pour le développement des codes et la gestion des données<sup>19</sup> permet d'aborder plus sereinement cette problématique.

## 7 En pratique au niveau des laboratoires

La question de la science ouverte doit se décliner à plusieurs niveaux : établissement, laboratoire, chercheur.

Au niveau du laboratoire, la définition d'une politique de science ouverte globale, incluant les publications, les données et les codes, va permettre de proposer une stratégie d'ensemble et cohérente et d'aider ses membres dans les choix de licences, d'entrepôts, de forges logicielles ...

Cette politique doit s'inscrire en cohérence avec les recommandations des tutelles de l'unité, en apportant des solutions concrètes aux membres du laboratoire.

### 7.1 Référencer ses codes

De la même façon que pour les données, le référencement des codes permet en particulier leur citation dans les publications, et leur mise en visibilité.

Il est important de suivre les bonnes pratiques de développement logiciel et d'utiliser une forge tout au long du développement. Dans de nombreux cas, cela permet d'assurer l'archivage du code source dans la base de **Software Heritage**, initiative qui vise à collecter, préserver, partager et archiver tous les logiciels disponibles publiquement sous forme de code source. En effet, Software Heritage moissonne les dépôts publics de nombreuses forges (y compris académiques). Si vous utilisez l'une d'elles, votre code est déjà probablement archivé. Une liste des forges disponibles dans le monde académique est disponible dans un des livrables du collège codes sources et logiciels du comité pour la science ouverte<sup>20</sup>.

Depuis peu, une collaboration entre HAL et Software Heritage permet de faciliter le référencement d'un code source via une notice HAL et un lien direct sur l'archive de Software Heritage<sup>21</sup>.

19. <https://hal.science/hal-02144142v3>

20. <https://www.ouvrirlascience.fr/les-forges-logicielles-de-lesr/>

21. <https://doc.archives-ouvertes.fr/deposer/deposer-le-code-source/>

Un des avantages de la démarche est d'utiliser le même outil de référencement que ce qui est demandé pour les publications, ce qui facilite en particulier les extractions demandées pour les évaluations (voir section 7.3).

### 7.2 Diffuser ses données

Les données de recherche appartiennent à l'établissement qui, en théorie, prend les décisions d'ouverture. La plupart des universités et des organismes de recherche se sont engagés dans une démarche de science ouverte pro-active et certains font des recommandations en matière de licence et d'entrepôts pour la diffusion des données en particulier.

En mathématiques, il n'existe pas réellement d'entrepôts de données, il faut donc se tourner vers des entrepôts génériques. Plutôt que [Zenodo](#), il est préférable de privilégier [Recherche Data Gouv](#) qui réalise une modération des dépôts, ce qui garantit une certaine qualité aux données déposées.

Recherche Data Gouv est une initiative portée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, pour développer un écosystème au service du partage et de l'ouverture des données de recherche. Outre l'organisation de l'accompagnement des communautés, Recherche Data Gouv propose donc un entrepôt pour déposer les données de recherche.

De nombreux établissements (dont le CNRS, l'INSERM, l'INRAE, plusieurs universités ...) disposent de leur propre collection sur Recherche Data Gouv.

Si votre tutelle ne dispose pas d'une collection, il est toujours envisageable de déposer ses données dans l'espace générique. Il est également possible que les données soient visibles dans plusieurs espaces institutionnels, fonctionnalité intéressante pour les UMR multi-tutelles par exemple.

Une autre manière de valoriser ses données peut être la rédaction d'un data paper. Il s'agit d'une publication scientifique, dont le but principal est de décrire un ou plusieurs jeux de données, afin de permettre leur réutilisation<sup>22</sup>.

### 7.3 Préparer les évaluations

La valorisation des données et des codes par leur ouverture et leur mise en visibilité permet d'afficher ces productions scientifiques au même titre que les publications sur les sites web des laboratoires comme sur les pages professionnelles de leurs membres, éventuellement de façon automatique grâce aux API de HAL et de Recherche Data Gouv par exemple.

22. <https://doranum.fr/data-paper-data-journal/>

C'est aussi un processus très intéressant pour compléter les rapports d'évaluation HCERES, dans lesquels la démarche de science ouverte pour l'ensemble des productions scientifiques est de plus en plus attendue.

En particulier, en ce qui concerne les logiciels développés dans les laboratoires, l'utilisation des plateformes Software Heritage et HAL permet de procéder de la même façon que pour la génération de la liste des publications.

Il est aussi possible de développer un baromètre science ouverte (voir la description en section 2) à l'échelle d'un laboratoire, permettant d'illustrer ainsi le taux d'ouverture des publications, des données, des codes et des thèses produits par le laboratoire.

## 7.4 Aide et support

L'accompagnement à la science ouverte implique des compétences assez diverses allant de l'information scientifique à l'informatique en passant par le juridique.

Depuis quelques années, le groupe de travail « Données-Codes Maths »<sup>23</sup>, composé de membres du réseau Mathrice (informaticiens des laboratoires de mathématiques) et du réseau RNBM<sup>24</sup> (documentalistes des bibliothèques de mathématiques), s'est mis en place pour apporter un support à la communauté mathématique sur toutes les problématiques de données de recherche et de codes.

Ce groupe a pour objectif d'aider sur de nombreux sujets : rédaction de plan de gestion de données, dépôt de données dans un entrepôt, choix de licences pour les données et les logiciels, choix d'une forge logicielle ... Par ailleurs, des actions d'animation et de formation sont proposées sur ces thématiques.

Cette accompagnement disciplinaire à destination de la communauté mathématique est complémentaire du support de proximité proposé par les ateliers de la donnée de l'écosystème Recherche Data Gouv<sup>25</sup>.

Toutes les informations pour contacter le groupe sont disponibles sur son site web : <https://codes-donnees.math.cnrs.fr/>.

23. <https://codes-donnees.math.cnrs.fr/apropos.html>

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

25. <https://recherche.data.gouv.fr/fr/page/ateliers-de-la-donnee-des-services-generalistes-sur-tout-le-territoire>

## 8 Conclusions et perspectives

Le code de la recherche<sup>26</sup> définit les objectifs de la recherche publique : « le développement et le progrès de la recherche dans tous les domaines de la connaissance; la valorisation des résultats de la recherche; le partage et la diffusion des connaissances scientifiques; le développement d'une capacité d'expertise; la formation à la recherche et par la recherche et l'organisation de l'accès libre aux données de la recherche ».

La science ouverte est donc explicite dans ces objectifs. L'ouverture des différents produits de la recherche (publications, données, codes) partent d'histoires très différents. Si celui des publications est complexe, les codes sont ancrés dans le logiciel libre, et la question de l'accès aux données est très récente.

L'ensemble du paysage se construit et se structure, il s'agit de ne pas reproduire les erreurs passées.

La science ouverte, si elle est essentielle à la recherche et à son bon fonctionnement, a un coût pour le chercheur, rendre les données et les codes réellement réutilisables prend du temps. La problématique de l'évaluation est donc d'une importance capitale pour accompagner l'évolution actuelle.

Le paysage qui se dessine inclut une forte composante d'accompagnement et de support, encore assez largement méconnue des communautés scientifiques, il ne faut pas hésiter à se faire aider pour aborder tous ces sujets (par exemple en contactant le groupe de travail sur [questions-codes-donnees@math.cnrs.fr](mailto:questions-codes-donnees@math.cnrs.fr)).

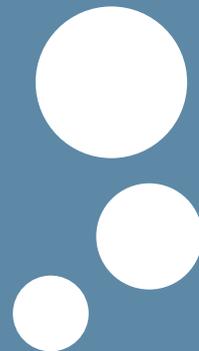
### Violaine LOUVET



Ingénieur de Recherche en calcul scientifique au CNRS, elle est actuellement membre du laboratoire Jean Kuntzmann à Grenoble. Violaine est également déléguée scientifique pour le calcul et les données à l'Institut de Mathématiques du CNRS (INSMI). Elle est administratrice des données de la recherche et chargée de mission science ouverte de l'Université Grenoble Alpes dont le site science ouverte synthétise tous les services autour des publications, des données et des codes.

**Email :** [violaine.louvet@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:violaine.louvet@univ-grenoble-alpes.fr)

26. [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000006524136/2010-01-17](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006524136/2010-01-17)



---

## TABLE DES MATIÈRES

<b>PARTIE : RECHERCHE EN BINÔME AU CIRM SUR LE CONTRÔLE DE L'ÉQUATION DE LIOUVILLE . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>PARTIE : RÉSEAUX DE NEURONES BIOLOGIQUES EN INTERACTION PLASTIQUE . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>Références . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>PARTIE : COMPTE-RENDU SUR LE WORKSHOP « MATHEMATICAL AND NUMERICAL TOOLS FOR ONCOLOGY », 24-25 AVRIL 2024, ONCOLILLE, LILLE (FRANCE) . . .</b>	<b>48</b>
<b>PARTIE : TRANSPORT BRANCHÉ ET FORMATION DE RÉSEAUX EN BIOLOGIE . . . . .</b>	<b>51</b>

## RECHERCHE EN BINÔME AU CIRM SUR LE CONTRÔLE DE L'ÉQUATION DE LIOUVILLE

*par :*

*Eugenio Pozzoli<sup>1</sup> — Univ Rennes, CNRS, IRMAR - UMR 6625, F-35000 Rennes, France*

*Ivan Beschastnyi<sup>2</sup> — Centre Inria d'Université Côte d'Azur, équipe MCTAO, LJAD, Nice, France*

---

1. [eugenio.pozzoli@univ-rennes.fr](mailto:eugenio.pozzoli@univ-rennes.fr)

2. [ivan.beschastnyi@inria.fr](mailto:ivan.beschastnyi@inria.fr)

## Contrôlabilité en temps petit d'équations de transport de Liouville le long d'un champs Hamiltonien

Les propriétés de contrôlabilité d'équations aux dérivées partielles commandées par des lois de contrôle multiplicatives ont suscité beaucoup d'intérêt au cours des trois dernières décennies, en raison de leur importance technologique. L'équation de Schrödinger est un exemple naturel de ce type de dynamique, car en mécanique quantique, le couplage entre l'état et le potentiel apparaît naturellement sous une forme multiplicative. Il existe une vaste littérature mathématique, établie au cours des deux dernières décennies, concernant le contrôle multiplicatif (bilinéaire) des EDP de Schrödinger. En fait, le contrôle quantique joue un rôle fondamental dans le développement des technologies quantiques, et le lien entre la théorie et les expériences est réel. Cependant, très peu de choses sont connues concernant les propriétés de contrôlabilité en temps petit de ces systèmes. Ceci est une question d'importance non seulement théorique, mais également de nature pratique : en effet, dans les expériences, ces systèmes ont une durée de vie très courte et il est donc fondamental de les contrôler en temps petit. D'un point de vue intuitif, grâce au caractère non borné de l'opérateur de Laplace, les hautes fréquences peuvent aider à contrôler les systèmes plus rapidement que dans les problèmes de dimension finie.

Dans ce projet BOUM de la SMAI, qui s'est déroulé au CIRM du 13 au 17 mai 2024, nous avons porté notre attention sur une question voisine, à savoir le problème de la contrôlabilité d'ensemble : au lieu de contrôler une seule particule suivant un système Hamiltonien, nous contrôlons une densité de particules qui est transporté selon l'équation de Liouville associée. Nous avons pu développer plusieurs idées de contrôle géométrique en dimension infini (notamment liées aux propriétés algébriques du groupe des difféomorphismes d'une variété Riemannienne) qui nous avons ensuite appliqué à l'équation de Liouville et, grâce à la correspondance quantique/classique, également à l'équation de Schrödinger. Une première partie de ce travail de recherche, sur l'équation de Schrödinger, est contenue dans la prépublication récemment posté sur HAL [1]. Une deuxième partie, sur l'équation de Liouville, sera bientôt prête dans une autre prépublication. Nous remercions la SMAI et le CIRM pour avoir soutenu notre projet BOUM et pour la merveilleuse hospitalité.

## Bibliographie

---

- [1] Karine Beauchard, Eugenio Pozzoli; Small-time controllability on the group of diffeomorphisms for Schrödinger equations. hal-04719730 (2024)

### Eugenio POZZOLI



Eugenio POZZOLI est chargé de recherche (CNRS, Section 07) à l'Institut de Recherche Mathématique de Rennes.

**Email :** [eugenio.pozzoli@univ-rennes.fr](mailto:eugenio.pozzoli@univ-rennes.fr)

**Site web :** <https://sites.google.com/view/eugeniopozzoli/home>

[//sites.google.com/view/eugeniopozzoli/home](https://sites.google.com/view/eugeniopozzoli/home)

### Ivan BESCHASTNYI



Ivan BESCHASTNYI est chargé de recherche (Inria, équipe MCTAO) au centre de l'Université Côte d'Azur.

**Email :** [ivan.beschastnyi@inria.fr](mailto:ivan.beschastnyi@inria.fr)

**Site web :** <https://sites.google.com/view/ivan-bes>

# RÉSEAUX DE NEURONES BIOLOGIQUES EN INTERACTION PLASTIQUE

*par :*

Quentin CORMIER<sup>3</sup> — Inria, CMAP, CNRS, Ecole polytechnique

Pascal HELSON<sup>4</sup> — KTH Royal Institute of Technology

Milica TOMASEVIC<sup>5</sup> — CNRS, CMAP, Ecole polytechnique

Pour notre projet BOUM nous avons bénéficié du soutien de la SMAI et du CIRM pour une semaine de *Recherche en résidence* du 11 - 15 décembre 2023. Notre objectif a été de démarrer un nouveau projet de recherche sur les interactions plastiques dans les réseaux de neurones biologiques. Voici quelques avancées de la semaine.

## Motivations

Le développement de la mémoire est communément attribué à des changements dans les connexions entre les neurones biologiques. Imaginons que les mots ‘fraise’ et ‘rouge’ sont encodés par deux différents groupes de neurones. Lorsque ces deux mots apparaissent dans la même phrase, les liens entre ces deux groupes de neurones se renforcent jusqu’à ce que la couleur ‘rouge’ soit associée au mot ‘fraise’. Ce mécanisme est appelé plasticité synaptique et dans cet exemple, sa dynamique est régie par la règle de Hebb : “*neurons that fire together wire together*”. De nombreuses règles basées sur ce principe ont par la suite été proposées par les modélisateurs et les biologistes. Malgré de nombreuses études, la dynamique d’un grand réseau de neurones avec interaction plastique reste peu claire et constitue un fabuleux défi mathématique en raison du couplage important entre les connexions et la dynamique des neurones. Au cours de cette semaine, nous avons effectué une étude mathématique préliminaire d’un nouveau modèle jouet reflétant les règles de plasticité ci-dessus.

---

3. [quentin.cormier@inria.fr](mailto:quentin.cormier@inria.fr)

4. [pashel@kth.se](mailto:pashel@kth.se)

5. [milica.tomasevic@polytechnique.edu](mailto:milica.tomasevic@polytechnique.edu)

## Modèle jouet

Le point de départ de ce projet est l'étude du modèle jouet suivant qui est un processus de Markov à temps continu, espace d'état discret. Il s'agit d'une variante d'un modèle de réseaux de Hopfield. On considère  $N$  neurones caractérisés par leur activité  $(V_t^i) \in \{0, 1\}$  avec  $N^2$  poids  $(W_t^{i \leftarrow j}) \in \{0, 1\}$ . Lorsque  $V_t^i = 1$ , le neurone est actif, et lorsque  $W_t^{i \leftarrow j} = 1$ , le neurone  $j$  est connecté au neurone  $i$ . Les règles d'évolution sont les suivantes :

$$V_t^i : \quad 0 \xrightarrow[\alpha]{\sigma\left(\frac{1}{N} \sum_j W_t^{i \leftarrow j} V_t^j\right)} 1,$$

$$W_t^{i \leftarrow j} : \quad 0 \xrightarrow[\gamma]{\beta V_t^i V_t^j = 1} 1.$$

Autrement dit,  $V_t^i$  saute de l'état 0 (neurone inactif) à l'état 1 (neurone actif) avec taux

$$\sigma\left(\frac{1}{N} \sum_j W_t^{i \leftarrow j} V_t^j\right),$$

où  $\sigma$  est typiquement une fonction non-linéaire : seuls les neurones actifs connectés à  $i$  sont pris en compte dans le taux de saut du neurone  $i$ . De plus les connexions se créent à taux

$$\beta V_t^i V_t^j = 1.$$

Cela signifie qu'une connexion ne peut se créer que si les deux neurones sont actifs simultanément. Cela est cohérent avec la règle de Hebb. Enfin,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sont des constantes positives.

## Avancées lors de la semaine

Notons d'abord que, a priori, à cause de la dynamique de connexions, le système ci-dessus n'est pas échangeable et donc ce modèle n'est pas de type champ moyen. En utilisant une approche inspirée de la thèse de P. Helson [1], nous avons augmenté l'espace d'état afin de récupérer l'échangeabilité.

Notamment, l'idée dans [1] est d'introduire pour chaque neurone  $i \leq N$  le processus du temps depuis son dernier spike,  $(S_t^i)_{t \leq T}$ . Ce processus est remis à zéro chaque fois que  $V^i$  passe de 1 à 0 et croît linéairement entre ces temps. Puisque presque sûrement les instants des sauts sont tous différents, ce processus permet d'identifier le label d'un neurone dans la population en connaissant uniquement le temps depuis dernier spike. Nous introduisons aussi, pour  $i \leq N$ ,

la mesure empirique contenant tous les neurones, le temps depuis leur dernier spike et toutes les connections avec le neurone  $i$  :

$$\xi_t^{i,N} \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{1}{N} \sum_j \delta_{(V_t^{j,N}, S_t^{j,N}, W_t^{j \rightarrow i,N})}.$$

Avec la variable additionnelle  $(S^i)_{i \leq N}$  on obtient une description champ moyen en considérant la mesure empirique suivante :

$$\mu_t^N \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{(V_t^{i,N}, S_t^{i,N}, \xi_t^{i,N})}.$$

La limite champ moyen obtenu dans la limite  $N \rightarrow \infty$  est donc un triplet  $(V, S, \xi)$  dont on a dérivé la dynamique complète. Nous avons également travaillé sur une méthode numérique pour simuler notre population de neurones et pour confirmer notre hypothèse de la limite champ moyen. Les essais numériques étant positifs, nous travaillons actuellement sur la démonstration du caractère bien posé de l'équation champ moyen et sur la convergence du système de particules vers cette limite.

## Références

- [1] Pascal HELSON. « Plasticity in networks of spiking neurons in interaction ». Thèse de doct. Université Côte d'Azur, 2021.

### Quentin CORMIER



Quentin est chargé de recherche à l'Inria Saclay, dans l'équipe ASCII. Il s'intéresse à l'analyse de grands assemblages de particules/agents en interaction. Il étudie mathématiquement des modèles de neurones à pointes, où la dynamique de chaque neurone est stochastique et peut être décrite par des processus point/saut.

**Email :** [quentin.cormier@inria.fr](mailto:quentin.cormier@inria.fr)

**Site web :** <https://quentincormier.org/>

## Pascal HELSON



Pascal est postdoc au KTH Royal Institute of Technology dans le groupe NeuroLogic. Cela fait suite à son doctorat chez Inria Sophia-Antipolis dans les équipes TOSCA et MathNeuro.

**Email :** [pashel@kth.se](mailto:pashel@kth.se)

**Site web :** <https://sites.google.com/view/page-pers-phelson/home>

[//sites.google.com/view/page-pers-phelson/home](https://sites.google.com/view/page-pers-phelson/home)

## Milica TOMASEVIC



Milica est chargé de recherche CNRS au CMAP à l'école Polytechnique. Ses domaines de recherche sont les systèmes de particules en interaction, l'interaction singulière et non markovienne; les EDS non linéaires au sens de McKean-Vlasov; l'EDP de Fokker-Planck avec interaction singulière; les processus de ramification; et quelques applications biologiques comme le mouvement collectif des cellules, la formation de réseaux biologiques, raccourcissement des télomères.

**Email :** [milica.tomasevic@polytechnique.edu](mailto:milica.tomasevic@polytechnique.edu)

**Site web :** <http://www.cmapx.polytechnique.fr/~milica.tomasevic/>

[//www.cmapx.polytechnique.fr/~milica.tomasevic/](http://www.cmapx.polytechnique.fr/~milica.tomasevic/)

## COMPTE-RENDU SUR LE WORKSHOP « MATHEMATICAL AND NUMERICAL TOOLS FOR ONCOLOGY », 24-25 AVRIL 2024, ONCOLILLE, LILLE (FRANCE)

*par :*

*Sophie DABO<sup>6</sup> — CNRS - Université de Montréal  
CRM - CNRS, MODAL team, Centre Inria de  
l'Université de Lille, UMR 8524 - Laboratoire Paul  
Painlevé, Université de Lille*

*Alexandre POULAIN<sup>7</sup> — Univ. Lille, CNRS, UMR 8524 -  
Laboratoire Paul Painlevé*

Nous présentons ici un compte-rendu du groupe de travail « *Mathematical and numerical tools for Oncology* » qui s'est tenu les 24 et 25 avril 2024 à Oncolille à Lille. Notre groupe organisateur était composé de Sophie Dabo (professeure à l'université de Lille) et Alexandre Poulain (chargé de recherche CNRS au laboratoire Paul Painlevé). Nous remercions la SMAI pour son aide au financement de ce workshop par le biais du financement de projets BOUM 2023.

La synergie de plusieurs disciplines de recherche pour l'oncologie a conduit dans le passé à de nombreuses découvertes tant sur la compréhension de la biologie des cancers que sur leurs traitements. L'importance des mathématiques et des sciences computationnelles dans la recherche interdisciplinaire en oncologie n'est plus à prouver. Les développements conjoints de la modélisation, des statistiques, de l'apprentissage automatique, et de la simulation numérique ouvrent de nombreuses possibilités d'études et d'analyses jusqu'alors impossibles. Afin d'aider au développement de ces avancées, nous pensons que les groupes de travail et les séminaires permettant les présentations de multiples méthodes (déterministes, statistiques, computationnelles, ...) et de résultats de recherches interdisciplinaires sont d'une importance capitale. L'objectif de notre groupe de travail est de rassembler dans une même salle des experts des mathématiques et sciences computationnelles ainsi que des chercheurs de la biologie, de la physique, et des sciences humaines.

6. [sophie.dabo@univ-lille.fr](mailto:sophie.dabo@univ-lille.fr)

7. [alexandre.poulain@univ-lille.fr](mailto:alexandre.poulain@univ-lille.fr)

Notre groupe de travail s'est déroulé sur deux jours à l'institut Oncolille de Lille. Cet institut accueille des chercheurs de plusieurs disciplines menant des travaux sur le cancer. L'objectif de l'institut Oncolille est de favoriser les échanges entre disciplines et de mener des recherches interdisciplinaires en oncologie.

À l'occasion de cette première session de notre workshop, nous avons sélectionné 9 présentations des disciplines des mathématiques (modélisation déterministe et statistiques) et sciences computationnelles ainsi que 2 présentations en physique et biologie. Au-delà du caractère interdisciplinaire de notre workshop, nous avons souhaité permettre aux jeunes chercheurs de présenter. Ainsi, 5 de nos 11 orateurs étaient postdoctorants ou étudiants en thèse.

Nous avons pu écouter des exposés à propos de diverses méthodes : méthodes statistiques d'analyse de données biologiques et médicales, modèles à base d'équations différentielles et leurs utilisations dans des projets en oncologie. Notre auditoire fut partagé entre chercheurs en mathématiques et chercheurs en biologie et physique.

L'emploi du temps fut conçu de manière à réserver des moments pour les discussions entre chercheurs. Nous sommes convaincus que ces moments de discussions informelles sont d'une importance capitale pour nouer des partenariats de recherche entre les disciplines.

Notre première séance du groupe de travail « *Mathematical and numerical tools for Oncology* » se conclut très positivement et nous souhaiterions proposer une nouvelle séance dans un futur proche. Comme point d'amélioration, nous chercherons pour la prochaine séance à nous concentrer sur une thématique précise de l'oncologie ou un type de méthode mathématique ou numérique. Notre volonté est de proposer un événement récurrent à Lille permettant aux chercheurs intéressés par l'interdisciplinarité pour l'oncologie de se réunir et de discuter.

## Sophie DABO



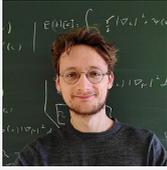
Sophie DABO est professeure de mathématiques appliquées (statistique) à l'université de Lille.

**Email :** [sophie.dabo@univ-lille.fr](mailto:sophie.dabo@univ-lille.fr)

**Site web :**

<https://sites.google.com/view/sophie-dabo-niang/>

### Alexandre POULAIN



Alexandre POULAIN est chargé de recherche CNRS au laboratoire Paul Painlevé.

**Email :** [alexandre.poulain@univ-lille.fr](mailto:alexandre.poulain@univ-lille.fr)

**Site web :**

<https://pro.univ-lille.fr/alexandre-poulain/>

# TRANSPORT BRANCHÉ ET FORMATION DE RÉSEAUX EN BIOLOGIE

par :

*Antonin MONTEIL*<sup>8</sup> — LAMA, Univ. Paris-Est Créteil

*Romain HUG*<sup>9</sup> — I2M, Aix-Marseille Université

*Paul PEGON*<sup>10</sup> — Ceremade, Université Paris-Dauphine

Ce soutien de la SMAI-BOUM nous a permis de co-financer un projet de recherche collaborative au CIRM sur la formation de réseaux en biologie, projet initié précédemment avec le soutien d'un financement PEPS du CNRS. Les trois participants se sont réunis les 10-14 juillet 2023.

Nous nous intéressons à la modélisation des mécanismes de formation de réseaux en biologie, tels que les vaisseaux sanguins ou les nervures d'une feuille. Nous nous sommes inspirés de modèles à structure variationnelle issus de travaux de Haskovec-Markowich-Perthame-Schlottbom ('14, '16) dans lesquels certains aspects dynamiques et numériques sont étudiés, avec notamment des résultats d'existence en temps court du flot parabolique. Notre projet a consisté à justifier rigoureusement la concentration du flux de transport sur un réseau 1D, ce qui apparaît numériquement dans le travail précédent. Comme cette question est essentiellement statique, nous avons étudié le comportement des solutions stables dans des régimes de paramètres qui forcent la concentration sur un réseau. Dans ces modèles, les moyens matériels mis en œuvre pour le transport, par exemple les artères et vaisseaux ou la porosité des tissus, sont modélisés par une matrice de conductivité sur le domaine  $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ , typiquement de la forme  $A(x) = r(x)I + m(x) \otimes m(x)$ , où  $m(x) \in \mathbb{R}^n$  représente la capacité du réseau ( $m(x) = 0$  en dehors du réseau) et  $r(x) \geq 0$  est la porosité des tissus. Par ailleurs, le flux sanguin est un champ de vecteur  $w$  à divergence prescrite (terme source). Deux effets énergétiques s'opposent : la puissance dissipée par effet Joule  $\int A^{-1}w \cdot w$  qui préfère une grande capacité  $A$ , et le coût matériel associé à la construction de  $A$ , typiquement une fonction sous-additive  $|A|^\alpha$  (avec  $\alpha < 1$ ) qui prend en compte les économies d'échelles. Par ailleurs, les fluctuations aléatoires de l'évolution sont prises en compte par un terme de diffusion  $\varepsilon \int |DA|^2$ . Lorsque  $\varepsilon \rightarrow 0$  la matrice  $A$  a tendance à se concentrer sur un réseau 1D afin de faire des économies d'échelle. Afin de justifier ce phénomène, nous avons utilisé

8. [antonin.monteil@u-pec.fr](mailto:antonin.monteil@u-pec.fr)

9. [romain.hug@univ-amu.fr](mailto:romain.hug@univ-amu.fr)

10. [pegon@ceremade.dauphine.fr](mailto:pegon@ceremade.dauphine.fr)

une notion de convergence variationnelle qui assure la convergence des minima lorsque  $\varepsilon \rightarrow 0$  : la «  $\Gamma$ -convergence ». En l'occurrence, nous avons identifié la  $\Gamma$ -limite comme un problème couplé non trivial entre le flux et la conductivité, dont les minimiseurs se concentrent sur un réseau. Ce problème limite est une généralisation de la théorie du transport branché, une variante du transport optimal où le transport s'effectue sur un réseau plutôt qu'en ligne droite. Le modèle que nous avons obtenu est issu de la modélisation de phénomènes biologiques, et peut intégrer une plus grande variété de comportements que le transport branché.

Cette rencontre a permis d'avancer sur les aspects théoriques tels que la  $\Gamma$ -convergence en régime de faible diffusion et les propriétés du réseau limite. Nous tenons à remercier la SMAI, le CIRM et les gestionnaires impliqués pour leur soutien dans le cadre de ce projet.

### Antonin MONTEIL



Antonin est maître de conférence au Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées (LAMA) dans l'équipe Équations aux dérivées partielles (EDP).

**Email :** [antonin.monteil@u-pec.fr](mailto:antonin.monteil@u-pec.fr)

**Site web :**

<https://perso.math.u-pem.fr/monteil.antonin/>

### Romain HUG



Romain est maître de conférence à l'institut de mathématiques de marseille à l'université d'Aix-Marseille.

**Email :** [romain.hug@univ-amu.fr](mailto:romain.hug@univ-amu.fr)

**Site web :**

<https://www.researchgate.net/profile/Romain-Hug>

### Paul PEGON



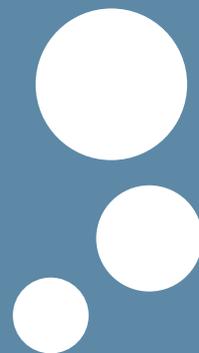
Paul est maître de conférence au CEREMADE à l'université Paris-Dauphine.

**Email :** [pegon@ceremade.dauphine.fr](mailto:pegon@ceremade.dauphine.fr)

**Site web :**

<https://www.ceremade.dauphine.fr/~pegon/>

# Le Musée Fermat, un nouveau lieu pour aimer les maths



*par :*

*Maryvonne SPIESSER<sup>1</sup> — Université Toulouse III -  
Paul-Sabatier*



Depuis le mois de juillet dernier un nouveau musée consacré aux mathématiques a ouvert à Beaumont-de-Lomagne, ville natale de Pierre de Fermat. Maître d'œuvre de la conception de ce musée, l'association Fermat Science, créée dans les années 1990, dont la compétence en matière de diffusion des mathématiques vers le grand public et les scolaires est forte d'une longue expérience. Avec l'ouverture de ce musée, l'association voit la réalisation de ses objectifs initiaux : favoriser l'accès pour tous à la culture mathématique, populariser les mathématiques, animer la maison natale de Pierre de Fermat.

L'hôtel particulier de la famille Fermat abrite en effet le musée. Sa construction remonte au XVI<sup>e</sup> siècle et, dans ce lieu historique, les architectes ont créé une superbe structure muséale en conservant les éléments les plus prestigieux

---

1. [maryvonne.spiesser@orange.fr](mailto:maryvonne.spiesser@orange.fr)

de l'ancienne demeure. Beaumont est une ville de 4000 habitants située dans le Tarn-et-Garonne, à une soixantaine de kilomètres de Toulouse. Les contraintes d'une implantation en milieu rural, éloigné des centres de culture, ainsi que le public attendu, familial et scolaire essentiellement, ont conduit à penser un espace original en trois temps : au début de la visite, c'est le patrimoine architectural et l'histoire du XVII<sup>e</sup> siècle qui sont mis en valeur ; puis les mathématiques du XVII<sup>e</sup> siècle et enfin les mathématiques aujourd'hui.

Nous entrons donc d'abord dans l'intimité de Pierre de Fermat. Un hologramme recrée l'hôtel particulier tel qu'il se présentait au temps où le mathématicien y vivait. Un arbre généalogique représente les trois familles dont sont issus Pierre de Fermat et son épouse Claire Delong. S'y inscrivent les interactions entre les tenants des deux religions, catholique et protestante, ainsi que l'évolution de la société vers une importance croissante de la bourgeoisie marchande et son accession à la noblesse, via la magistrature. Fermat a été nommé magistrat au parlement de Toulouse en 1631. Il a vécu entre sa ville natale, Toulouse et Castres où il a été nommé à plusieurs reprises pour siéger à la Chambre de l'Edit, chambre mi-partie composée à égalité de magistrats catholiques et protestants.

Les événements principaux du XVII<sup>e</sup> siècle, qu'ils soient politiques, religieux ou scientifiques sont relatés au moyen d'un jeu de l'oie, créé dans ce but. Dans la partie suivante, nous imaginons la bibliothèque de Fermat. Nous connaissons ses principales lectures à partir de sa correspondance. Parmi les documents phares de cette bibliothèque, les *Coniques* d'Apollonius de Perge (III<sup>e</sup> - II<sup>e</sup> s. avant notre ère), et l'*Arithmétique* de Diophante (entre I<sup>er</sup> et IV<sup>e</sup> s.) dans une version gréco-latine. Fermat possédait un exemplaire (aujourd'hui perdu) de ce dernier ouvrage. Il y avait écrit en marge sa fameuse conjecture rendue célèbre suite à la démonstration d'Andrew Wiles en 1994. Sont aussi mis en exergue l'*Ars analytica* de Viète (1540-1603), livre de chevet de Fermat dans lequel il puisa ses connaissances algébriques, et les *Problèmes plaisans et delectables* de Bachet de Méziriac (1581-1638). De ce livre de « Récréations mathématiques » ont été tirées plusieurs activités pour le public, par exemple sur les carrés magiques.

Du côté des mathématiques, une salle est consacrée à l'effervescence scientifique du premier XVII<sup>e</sup> siècle, à cette République des Lettres animée à l'origine par le Père Mersenne qui créa un réseau européen de communication entre les savants. Un focus sur la cycloïde, la « reine des courbes » qui passionna beaucoup de mathématiciens contemporains de Fermat, illustre le propos.

La dernière partie de l'exposition permanente est consacrée aux mathématiques aujourd'hui. Des dispositifs interactifs explorent quelques secteurs des mathématiques contemporaines en lien avec les travaux de Fermat (probabilités, optimisation, théorie des nombres). Le calcul des probabilités est évoqué

à partir du *Problème des partis* qui fut le sujet essentiel de la correspondance entre Fermat et Pascal en 1654. Deux personnes jouent à un jeu de hasard (avec mises initiales). Le nombre de parties à gagner pour remporter le jeu est fixé. Or celui-ci est interrompu avant d'arriver à son terme. La question est de savoir comment, à partir du nombre de parties engrangées par chaque protagoniste, partager équitablement l'enjeu (« faire le parti »). Sous-entendu, de façon que si le jeu reprenait, il serait juste que chaque joueur mise la somme reçue. Un jeu vidéo a été imaginé pour faire comprendre ce problème.

Fermat a été l'un des pionniers du futur calcul infinitésimal, avec sa « Méthode pour la recherche du maximum et du minimum » (fortement contestée par Descartes), qui annonce l'optimisation. Ce domaine des mathématiques est représenté dans le musée par une vidéo commentée portant sur le Contrôle optimal, à propos du calcul des trajectoires de satellites. Enfin, l'aventure du Dernier ou Grand théorème qui a passionné les mathématiciens les plus éminents pendant plusieurs siècles avant de faire la une des journaux du monde entier dans les années 1990, est évoquée par le biais de la BD et d'une interview exclusive du principal auteur de la démonstration, Andrew Wiles.

Une salle est également consacrée aux expositions temporaires. La première d'entre elles est intitulée *Entrez dans le monde de l'IA*. Elle a été créée par Fermat Science en partenariat avec la Maison des maths et de l'informatique de Lyon et la Maison Poincaré de Paris.

Les 3-8 ans ne sont pas oubliés. Un espace leur est dédié, organisé actuellement autour de formes géométriques via des jeux de construction. Il est destiné à évoluer pour abriter notamment *Emmy la renarde*, une activité créée dans le cadre des relations de Fermat Science avec ses partenaires européens, qui invitera les plus jeunes à aimer les mathématiques.

Dans ce lieu unique, destiné au public familial, touristique et scolaire, nous avons voulu impliquer le plus possible le visiteur tout au long du parcours, ce que permettent aujourd'hui les moyens techniques à disposition. Manipulations, jeux, énigmes à résoudre jalonnent le parcours. Plonger le visiteur dans la vie d'une famille du XVII<sup>e</sup> siècle, honorer la mémoire de Pierre de Fermat et transmettre au public sa passion des mathématiques, donner « une autre idée des mathématiques » en proposant un espace innovant autour de la culture scientifique, telles sont les ambitions qui ont présidé à la réalisation de cet espace.

Contact :

[contact@museefermat.com](mailto:contact@museefermat.com)

+335 63 26 52 30

## Maryvonne SPIESSER



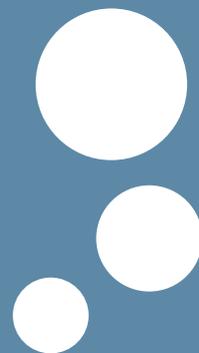
Maryvonne Spiesser est maître de conférences honoraire en mathématiques et histoire des mathématiques (Université Toulouse III-Paul Sabatier). Elle est investie dans la diffusion de la culture mathématique au sein de l'association Fermat-Science (Beaumont-de-Lomagne) dont elle est vice-présidente.

**Email :** [maryvonne.spiesser@orange.fr](mailto:maryvonne.spiesser@orange.fr)

**Site web :** [museefermat.com](http://museefermat.com)

# Haim Brezis 1944-2024

## In Memoriam



*Haim Brezis (photo de A. Damlamian)*

---

### TABLE DES MATIÈRES

<b>PARTIE : L'ŒUVRE MATHÉMATIQUE DE HAIM BREZIS</b> .....	58	<b>zis : des souvenirs en pêle-mêle</b> .....	71
<b>PARTIE : QUELQUES SOUVENIRS DE HAIM BREZIS</b> .....	64	<b>7 Jesús Ildfonso Díaz et Juan Luis Vázquez – L'école espagnole de Brezis</b> .....	74
<b>1 Alain Haraux</b> .....	64	<b>8 Vilmos Komornik – Mes souvenirs de Haim Brezis</b> ...	77
<b>2 Etienne Sandier</b> .....	66	<b>9 Petru Mironescu</b> .....	79
<b>3 Jean-Michel Coron</b> .....	66	<b>10 Amandine Aftalion</b> .....	81
<b>4 Myriam Comte – Une très grande admiration et un très profond respect</b> .....	68	<b>11 Alain Damlamian</b> .....	82
<b>5 Laurent Véron</b> .....	69	<b>Références</b> .....	84
<b>6 Jean Mawhin – Haim Bre-</b>			

## L'ŒUVRE MATHÉMA- TIQUE DE HAIM BREZIS

*par :*

*Henri BERESTYCKI<sup>1</sup> – EHESS, Paris et University of  
Maryland, College Park*

*Jean-Michel CORON<sup>2</sup> – Laboratoire Jacques-Louis  
Lions, CNRS Sorbonne Université*

Avec la disparition de Haim Brezis le 7 juillet à Jérusalem, à l'âge de 80 ans, nous perdons l'un des grands maîtres de l'analyse mathématique. Membre éminent de l'Académie des sciences en France, ainsi que de la National Academy of Sciences et de l'American Academy of Arts and Sciences aux États-Unis, Haim Brezis s'impose comme l'une des figures majeures des mathématiques au cours des cinquante dernières années dans le monde. Son influence dans ce domaine est immense.

Né sous le pseudonyme de Jean-Jacques Vienne le 1er juin 1944, à Riom-ès-Montagnes (Cantal), où ses parents juifs originaires d'Europe centrale s'étaient réfugiés, il adopta le prénom Haim (« vie », en hébreu) après la guerre, et retrouva aussi son véritable nom. Après des études à Paris, il réalisa ses premiers travaux au Centre national de la recherche scientifique avant de devenir professeur à Paris-VI, où il a passé l'essentiel de sa carrière française. À partir de 2004, il a partagé son temps entre Rutgers University (New Jersey), où il enseignait depuis 1988, et le Technion, à Haïfa, en Israël. Dans ce dernier institut, il était professeur à la fois dans le département de mathématiques et dans le département d'informatique.

Les toutes premières recherches de Haim Brezis se situent dans un cadre abstrait. Dans son premier article [10], Haim Brezis a étudié les opérateurs entre des espaces en dualité et a introduit deux classes importantes d'opérateurs : les opérateurs de type M et les opérateurs pseudo-monotones. Ce qui est déjà surprenant, c'est la profondeur de ces deux notions et la manière très élégante dont leurs propriétés et applications sont exposées. Au début des années 70, la théorie des opérateurs monotones et des semi-groupes continus était en développement sous l'influence de Crandall, Minty, Pazy et d'autres. Haim Brezis a publié une

1. [henri.berestycki@ehess.fr](mailto:henri.berestycki@ehess.fr)

2. [jean-michel.coron@sorbonne-universite.fr](mailto:jean-michel.coron@sorbonne-universite.fr)

série d'articles sur les effets régularisants de ces semi-groupes lorsque leur générateur est le sous-différentiel d'une fonction convexe semi-continue inférieurement dans un espace de Hilbert. Il a publié une autre série d'articles (en particulier [13, 17]) sur la somme des opérateurs monotones et a donné des conditions suffisantes pour que leur somme soit maximale monotone. Ces conditions sont associées à la notion d'opérateur dominant et elles ont conduit à des progrès importants dans la théorie abstraite des opérateurs. En 1973, Haim Brezis a publié le livre fondamental [11] où les résultats les plus récents étaient exposés, dont beaucoup étaient dus à l'auteur lui-même. Ce livre est encore incontournable pour les chercheurs et les étudiants de troisième cycle intéressés par les opérateurs non linéaires.

Une deuxième série de travaux est consacrée à de nombreux aspects des équations elliptiques semi-linéaires. Sous l'influence de G. Stampacchia et de l'école italienne de De Giorgi, Haim Brezis s'est montré être un spécialiste très profond de la théorie de la régularité, en particulier pour les solutions des équations variationnelles. Sa thèse de doctorat « Problèmes unilatéraux » a été publiée en 1972 dans un article de 168 pages [12]. Dans ce travail, il a montré comment les espaces de Besov-Sobolev fractionnaires ou les espaces BV sont bien adaptés pour étudier les questions de régularité optimale dans les équations non linéaires (il a toujours su introduire le bon espace adapté au problème, cela est également vrai pour d'autres recherches impliquant la théorie du degré et l'espace BMO; voir ci-dessous). À la même période, il a commencé à considérer les équations elliptiques semi-linéaires dans  $L^1$ . Son premier article sur ce sujet [21], écrit avec Walter Strauss, est consacré au problème dans un domaine borné. Dans le second, [3], les problèmes dans  $\mathbb{R}^N$  sont considérés et l'utilisation des espaces de Marcinkiewicz, inévitable si les fonctions  $L^1$  sont remplacées par des mesures, a été, pour la première fois, clairement mise en lumière. Un autre exemple de la manière dont les idées de Haim Brezis ont enrichi la recherche concerne l'opérateur  $u \mapsto L[u] := -\Delta u + u^q$  où  $q > 1$ . Avec Philippe Bénilan, il a trouvé dans [4]<sup>3</sup> que lorsque  $q < N/(N - 2)$ , il existe des solutions de  $L[u] = \delta_a$  (masses de Dirac en  $a$ ). Au contraire, avec Laurent Véron, il a prouvé qu'aucune solution de  $L[u] = 0$  avec des singularités isolées ne pouvait exister lorsque  $q \geq N/(N - 2)$ . Ce type de résultats a un nombre énorme d'extensions à des problèmes très variés tels que les opérateurs quasi-linéaires ou entièrement non linéaires, les opérateurs paraboliques, les singularités de frontière, les équations d'ordre supérieur, les systèmes, etc.

Dans [22], Haim Brezis et Elliott Lieb ont trouvé une relation puissante entre la convergence ponctuelle et la convergence de fonctionnelles. Soit  $(\Omega, \Sigma, \mu)$  un

---

3. Cet article est resté inédit pendant près de 30 ans

espace mesuré et soit  $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$  une suite de fonctions qui converge presque partout vers une fonction  $f$  et soit  $p \in ]0, +\infty[$ . Le lemme de Fatou nous dit que

$$\|f\|_{L^p}^p \leq \liminf_{n \rightarrow +\infty} \|f_n\|_{L^p}^p. \tag{1}$$

Ils ont montré que l'on peut dire bien mieux et que l'on a en fait le théorème suivant :

**THÉORÈME 1**

Supposons qu'il existe  $C > 0$  tel que

$$\|f_n\|_{L^p} \leq C. \tag{2}$$

Alors

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \|f_n\|_{L^p}^p - \|f_n - f\|_{L^p}^p = \|f\|_{L^p}^p. \tag{3}$$

Ce théorème (et sa généralisation à d'autres fonctionnelles donnée dans [22]) a eu des applications considérables, notamment en calcul des variations.

Un autre exemple d'un article avec une influence énorme est [20], écrit avec Louis Nirenberg. Le problème considéré dans [20] est le suivant. Soit  $N \in \mathbb{N}$  tel que  $N > 2$ , soit  $\Omega$  un sous-ensemble ouvert borné, non vide et connexe de  $\mathbb{R}^N$  et soit  $V : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$  une fonction continue. On considère l'équation

$$\begin{cases} -\Delta u + V(x)u = u^{(N+2)/(N-2)} & \text{dans } \Omega, \\ u > 0 & \text{dans } \Omega, \\ u = 0 & \text{sur } \partial\Omega. \end{cases} \tag{4}$$

et on suppose l'existence de  $\nu > 0$  tel que

$$\int_{\Omega} |\nabla u|^2 + V(x)u^2 dx \geq \nu \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx, \forall u \in H_0^1(\Omega). \tag{5}$$

Haim Brezis et Louis Nirenberg ont montré dans [20] le théorème suivant, qui est à rapprocher du célèbre article de Thierry Aubin [2].

**THÉORÈME 2**

Supposons que  $N > 3$  et qu'il existe  $x_0 \in \Omega$  tel que

$$V(x_0) < 0. \tag{6}$$

Alors le problème (4) a une solution.

Ce résultat a laissé ouverte la question pour  $N = 3$ . Ce cas restant a été résolu plus tard par Haim Brezis dans [9], où il a mis en évidence des phénomènes très nouveaux dans cette dimension. Les deux articles [20] et [9] ont mis en lumière des effets de quantification dans l'étude des fonctionnelles avec des exposants critiques de Sobolev ainsi que l'importance de la géométrie. Ils ont dévoilé de manière impressionnante ce qui est au cœur de ce type de questions et des centaines d'extensions et de généralisations ont été publiées.

Une partie significative de la recherche de Haim Brezis pendant environ deux décennies a été motivée par les équations de Ginzburg-Landau et d'autres équations de nature géométrique. Son étude a soulevé de nombreuses questions stimulantes liées non seulement aux EDP, mais aussi à la théorie des fonctions et aux aspects géométriques et topologiques de l'analyse. L'énergie (simplifiée) de Ginzburg-Landau est

$$E_\varepsilon(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} |\nabla u|^2 + \frac{1}{4\varepsilon^2} \int_{\Omega} (1 - |u|^2)^2, \quad u : \Omega \rightarrow \mathbb{C}, \Omega \subset \mathbb{R}^n. \quad (7)$$

Dans le livre extrêmement influent [5], Fabrice Bethuel, Haim Brezis et Frédéric Hélein ont donné, dans des domaines bornés bidimensionnels  $\Omega$ , l'asymptotique lorsque  $\varepsilon \rightarrow 0$  des points critiques de  $E_\varepsilon$  soumis à la condition aux limites de Dirichlet  $u = g : \partial\Omega \rightarrow \mathbb{S}^1$  sur  $\partial\Omega$ . Parmi les centaines de publications motivées par [5], nous voudrions souligner les monographies de quatre chercheurs de l'école de Haim Brezis, à savoir Frank Pacard et Tristan Rivière [25] et Étienne Sandier et Sylvia Serfaty [27].

Dans [5], il est notamment prouvé que, lorsque  $\varepsilon \rightarrow 0$ , les points critiques de (7) tendent vers une application  $u : \Omega \rightarrow \mathbb{S}^1 \subset \mathbb{C}$  avec des singularités en des points précis, et que l'application limite  $u$  a une certaine régularité de Sobolev. Cela conduit naturellement à l'étude des espaces de Sobolev  $W^{s,p}(\Omega; \mathbb{S}^1)$ . En dimension 2, les données de Dirichlet naturelles pour Ginzburg-Landau appartiennent à  $H^{1/2}(\partial\Omega; \mathbb{S}^1)$ ; c'est un sous-espace de  $VMO(\partial\Omega)$  ( $VMO$  est l'ensemble des fonctions à « oscillation moyenne nulle »; c'est la fermeture dans  $BMO$  « oscillations moyennes bornées » de l'ensemble des applications lisses). Lorsque la condition aux limites a un degré nul, les applications limites appartiennent à  $H^1(\Omega; \mathbb{S}^1)$ ; c'est encore un sous-espace de  $VMO$ . Dans [18, 19], Haim Brezis et Louis Nirenberg ont fondé la théorie du degré pour les applications  $VMO$  entre variétés. En partie aidés par les travaux antérieurs de Richard Schoen et Karen Uhlenbeck [28] et de Anne Boutet de Monvel et al. [8], ils ont établi l'existence du degré pour ces applications, ainsi que ses principales propriétés (stabilité sous homotopie dans  $VMO$ , surjectivité si le degré n'est pas nul, etc.). C'est l'équivalent  $VMO$  de la théorie du degré pour les applications continues. Leurs articles ont apporté un éclairage nouveau sur des résultats plus anciens

comme la théorie de l'indice pour les opérateurs de Toeplitz sur le cercle [24, Chapitre 7] et sur le contrôle *BMO* du relèvement des applications à valeurs dans  $S^1$  découvert par Ronald Coifman et Yves Meyer [23].

Brian White [29] a étudié l'existence d'invariants topologiques pour les applications dans l'espace de Sobolev  $W^{1,p}(M, N)$ , avec  $N$  une variété compacte orientée. Dans l'article profond et clé [14], Haim Brezis et Yanyan Li ont initié l'étude de la topologie de l'espace  $W^{1,p}(M, N)$  lui-même. Un résultat frappant de [14] est le suivant :

### THÉORÈME 3

Supposons que  $\dim M \geq 2$  et  $p < 2$ . Alors  $W^{1,p}(M, N)$  est connexe par arcs.

D'autres résultats établis [14] décrivent les classes d'homotopie de  $W^{1,p}(M, N)$  pour des variétés  $M$  et  $N$  particulières. Dans [14] Haim Brezis et Yanyan Li ont aussi introduit de nouvelles techniques pour approcher et connecter des applications, en particulier ce que les auteurs appellent la « bridging technique » (voir [14, Propositions 1.2 et 3.1]). L'article [14] contient également, pour certains  $M$  et  $N$  particuliers, deux types de résultats complètement nouveaux :

- (i) le fait qu'il est possible de connecter une application arbitraire à une application lisse ;
- (ii) le fait que la topologie de  $W^{1,p}(M, N)$  dépend uniquement de  $[p]$ ,  $M$  et  $N$  (et non de la valeur de  $p - [p]$ ).

Ces résultats ont inspiré un très grand nombre de chercheurs.

Haim Brezis et Hoai-Minh Nguyen ont étudié dans [15, 16] le jacobien d'une application. En particulier, ils ont donné une explication quantitative éclairante du théorème de compacité de Reshetnyak [26]. L'un des corollaires de leurs principaux résultats est le théorème superbe :

### THÉORÈME 4

Soit  $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$  et soit  $\alpha \in ](n-1)/n, 1[$ . Il existe alors  $C > 0$  tel que, pour tout  $u \in C^1(S^n; S^n)$  et pour tout  $\varphi \in C^1(S^n)$ ,

$$\left| \int_{S^n} \varphi \det(\nabla u) d\sigma \right| \leq C(\alpha, n) \left( |\varphi|_{L^\infty} |u|_{C^{0,\alpha}}^{n/\alpha} + |\nabla \varphi|_{L^\infty} |u|_{C^{0,\alpha}}^n \right).$$

Cette explication n'avait pas été trouvée avant [15] malgré trente-cinq ans d'utilisation intensive du théorème de Reshetnyak, en particulier en élasticité ! On ne saurait trop louer ces articles.

Nous voudrions également mentionner l'article [1] où Luigi Ambrosio, Jean Bourgain, Haim Brezis et Alessio Figalli ont donné une caractérisation frappante du périmètre des ensembles. Ils construisent pour cela une variante non isotrope d'une norme de type BMO introduite auparavant dans l'article [6] par Jean Bourgain, Haim Brezis et Petru Mironescu. Ces deux articles sont révolutionnaires. Dans [7], aussi en collaboration avec Jean Bourgain et Petru Mironescu, Haim Brezis a obtenu une caractérisation nouvelle et très utile des espaces de Sobolev  $W^{1,p}$ ,  $1 < p < +\infty$ .

Haim Brezis est l'un des mathématiciens les plus influents des quarante dernières années. Sa manière d'aborder les problèmes, qui commence toujours par des questions simples et facilement compréhensibles, est devenue une philosophie d'action développée par ses nombreux anciens étudiants. Son influence dans de nombreux domaines des mathématiques, en lien avec des problèmes physiques réels, est absolument immense.

Cette influence se reflète dans les nombreuses et importantes reconnaissances reçues par Haim Brezis. Par exemple,

- Haim Brezis a été membre/membre étranger de 9 académies (y compris l'Académie des sciences, l'American Academy of Arts and Sciences et la National Academy of Sciences).
- Haim Brezis a été Docteur Honoris Causa ou Professeur Honoraire de 11 universités.
- En janvier 2024, l'American Mathematical Society lui a décerné sa distinction la plus prestigieuse, le Steele Prize for Lifetime Achievement, en reconnaissance de l'œuvre d'une vie.

Comme il est clair de ce qui précède, les contributions scientifiques de Haim Brezis sont exceptionnelles. Quant à ses capacités de leadership, elles sont également remarquables. Par exemple, Haim Brezis a supervisé 58 thèses. L'un de ses anciens étudiants, Pierre-Louis Lions, est médaillé Fields. Selon le « Mathematics Genealogy Project », il a plus de 1100 descendants (parmi lesquels les médaillés Fields Alessio Figalli et Cédric Villani).

Les réalisations accomplies par Haim Brezis pour la communauté mathématique ont également été exceptionnelles. Par exemple, Haim Brezis a été

- vice-président de l'American Mathematical Society, de 2004 à 2009.
- le créateur puis le rédacteur en chef de la série : « Progress in Nonlinear Differential Equations and Their Applications », Birkhäuser (plus de 100 volumes publiés depuis 1988).
- le rédacteur en chef du Journal of the European Mathematical Society (JEMS) pendant douze ans (2003-2015). Pendant ces douze années, JEMS

est devenu un journal de premier plan grâce à Haim Brezis.

- co-rédacteur en chef de *Communications in Contemporary Mathematics*.

L'un des mathématiciens les plus influents de ces cinquante dernières années, Haim Brezis laisse derrière lui un héritage scientifique extraordinaire qui continuera à inspirer des générations de chercheurs dans le monde entier.

## QUELQUES SOUVENIRS DE HAIM BREZIS

### 1 Alain Haraux<sup>4</sup>

J'ai rencontré Haïm Brezis pour la première fois en 1971 à l'occasion de son cours de DEA dont j'avais particulièrement apprécié la clarté et le recours constant à l'intuition géométrique. J'ai compris beaucoup plus tard qu'une partie du style très particulier de Haïm venait de l'influence du grand pédagogue Gustave Choquet, dont le livre de topologie avait été mon livre de chevet en classes préparatoires. J'ai effectué mon stage de DEA avec Haïm sur la théorie de Lusternik-Schnirelmann, ce qui m'a amené à approfondir certaines questions de topologie algébrique. L'année suivante étant, selon la tradition de l'époque, consacrée à la préparation de l'agrégation, ce n'est qu'en 1973 que j'ai choisi Haïm comme directeur de recherche, en partie pour la clarté de ses exposés, en partie suite à des discussions avec Laurent Véron et Michelle Schatzman qui lui vouaient une grande admiration.

J'avais en fait attrapé au passage deux questions ouvertes posées par Haïm lors de séminaires, l'une sur la dérivation dans les inéquations variationnelles, l'autre sur les équations d'évolution avec force extérieure périodique. Dès le départ, j'ai compris qu'il tenait à ce que nous abordions les questions sans trop d'études bibliographiques préliminaires, quitte à regarder d'abord des cas particuliers simples pour nous familiariser avec les structures impliquées dans ces problèmes. Cette approche était partagée, ce que j'ai su plus tard, avec Jacques-Louis Lions, l'autre encadreur de Haïm. En revanche leurs stratégies étaient assez différentes, Lions étant plutôt intéressé par l'invention de méthodes puissantes susceptibles de déboucher immédiatement sur des applications numériques, et Haïm cherchant plutôt à identifier des résultats susceptibles de « faire

4. Laboratoire Jacques-Louis Lions, CNRS Sorbonne Université; [haraux@ann.jussieu.fr](mailto:haraux@ann.jussieu.fr).

sauter la banque » en modifiant des points de vue jusque-là admis par tous. Il poussait donc les méthodes jusqu'à leur limite, avec l'idée qu'elles pourraient faire craquer le mur d'à côté jusque-là réputé inébranlable. Et je pense qu'il y est parvenu assez souvent.

Au fil des années, le livre « Opérateurs maximaux monotones et semi-groupes de contractions dans les espaces de Hilbert » a pris place dans ma bibliothèque à côté du Choquet de topologie et du Landau de mécanique. Les bons livres ont une fonction de structuration de l'esprit qu'aucun voyage sur le web ne pourra jamais remplacer.

Haïm aurait facilement pu faire sienne la phrase célèbre « le mot impossible n'est pas Français » et son enthousiasme était très contagieux. J'ai à ce sujet deux petites anecdotes qui en disent long sur lui. Je ne parlerai pas de notre article en commun qui m'a appris à la fois les codes de la rédaction mathématique et l'importance de la persistance pour déboucher sur des résultats optimaux. La première anecdote commence par un exposé que j'avais fait devant Haïm, vers 1976, lorsque j'étais encore en phase de recherche sur un problème de convergence faible vers une solution périodique. Par une méthode un peu maladroite, j'avais établi le résultat surprenant que même si la convergence des solutions était faible, les dérivées devaient converger fortement. Haïm m'a d'abord dit que cette observation était peut-être plus importante que sa question initiale. Puis il a été chercher une astuce de P.D. Lax qui remplaçait mon argument maladroit par un calcul à la fois plus esthétique et plus surprenant. Quelques mois plus tard, je le croise dans le couloir du Labo, et avec son sourire habituel, il m'annonce que dans un séminaire aux USA il avait montré discrètement « mon » résultat à son ami Louis Nirenberg. Cette nuit-là, appel téléphonique de Nirenberg à 4 heures du matin : « Mais comment tu fais ça ? » Moi qui alors imaginais naïvement que les grands du niveau de Nirenberg se contentaient de capitaliser sur leurs exploits de jeunesse, je découvrais ainsi avec surprise que lorsqu'on est curieux, c'est pour la vie ! Une autre fois, vers 1981, je croise à nouveau Haïm qui m'avait chargé de le remplacer pour un séjour de 4 mois à Taïwan, sachant que mon épouse était coréenne et que ça nous permettrait de combiner avec une visite à la belle-famille. Je lui dis : « J'hésite à accepter car j'ai actuellement pas mal d'élèves que mon absence pourrait handicaper ». Réponse immédiate de Haïm : « En ce qui me concerne, mes élèves n'ont jamais aussi bien travaillé qu'en mon absence, donc vas-y sans hésiter ! »

Il y aurait sans doute beaucoup d'autres histoires amusantes si je fouillais un peu plus dans ma mémoire, notamment une où Haïm avait oublié l'existence d'un de ses propres articles, montrant qu'il était toujours dans une perspective dynamique sans s'attarder sur les résultats acquis. Mais je me limiterai aux deux

exemples ci-dessus qui me semblent assez signifiants et révélateurs de la personnalité à laquelle nous souhaitons aujourd'hui rendre hommage.

## 2 Etienne Sandier<sup>5</sup>

Je n'ai pas suivi le cours de maîtrise de « Brezis », comme nous l'appelions, parce qu'il s'intitulait « Analyse fonctionnelle » et que je croyais bêtement qu'il s'agissait d'études de fonctions. Mais comme des camarades m'en avaient parlé comme DU cours où il se passait quelque chose, j'avais suivi l'année d'après son cours de DEA. Ce fut effectivement un choc, le pur talent de Brezis comme enseignant est légendaire, mais n'est pas une légende. Ses cours et exposés étaient d'une vitalité incroyable - on était sans aucun doute au cœur de l'action - mais son approche était délicate, il posait une question naïve, tirait un fil et déroulait naturellement toute une pelote. Les autres cours paraissaient ternes en comparaison. Il est vrai qu'un des thèmes cette année-là était les applications harmoniques, domaine de certaines de ses plus belles contributions. J'avais eu de la chance. Comme chercheur, il allait toujours plus au fond des choses, il creusait, et son talent le faisait alors s'approcher d'une forme de perfection dans la formulation de ses résultats et de ceux des autres. Il donnait du sens, unifiait, mais sans mettre de point final, car il apportait le même soin maniaque à la formulation de problèmes ouverts alléchants, une de ses spécialités. Avec ces problèmes ouverts, sa personnalité si charismatique, sa volonté impérieuse, sa capacité à se lier avec des gens complètement différents, il a mobilisé des communautés entières de chercheurs, pratiquement sur son nom. Et une nouvelle génération continue de creuser des sillons qu'il a largement contribué à tracer.

## 3 Jean-Michel Coron<sup>6</sup>

C'était en 1978 que j'ai eu la chance de croiser pour la première fois le chemin de Haim. à l'école Polytechnique, il dispensait un cours d'option sur les opérateurs maximaux monotones, un domaine où il avait apporté des contributions essentielles. à ce moment-là, j'ignorais, bien sûr, que je me trouvais face à un mathématicien d'exception. Mais ce qui ne m'a pas échappé, c'était la clarté éblouissante de son enseignement. Les énoncés, les démonstrations ... tout semblait baigner dans une lumière rare et était expliqué avec une précision qui m'a

5. AMA, CNRS (UMR 8050) et Université Paris-Est Créteil; [sandier@u-pec.fr](mailto:sandier@u-pec.fr).

6. Laboratoire Jacques-Louis Lions, Sorbonne Université; [jean-michel.coron@sorbonne-universite.fr](mailto:jean-michel.coron@sorbonne-universite.fr).

immédiatement captivé. Déjà à l'époque, et je devais découvrir plus tard que c'était une véritable signature de son style, Haim ponctuait ses cours de problèmes ouverts, intrigants avec des énoncés faciles à comprendre, mais difficiles à résoudre. C'est cette pédagogie lumineuse, cette générosité intellectuelle, qui m'a décidé à m'essayer à la recherche en mathématiques.

Haim a accepté de diriger ma thèse de troisième cycle, comme on disait alors. Pendant l'année 1978-1979, je faisais un stage dans une fonderie d'aluminium à Issoire pour ma formation au Corps des mines. Nous échangeons par lettres, et chacune d'elles était un véritable trésor : Haim y glissait des problèmes ouverts et des conseils, toujours précis et judicieux, pour les aborder. Ses lettres étaient un véritable souffle d'encouragement, une source d'inspiration et de motivation. Peu après, alors que je devais effectuer un second stage, il me recommanda auprès de Roland Glowinski, qui me fit l'honneur de m'accueillir pour dix mois à l'INRA (devenu aujourd'hui INRIA). L'ambiance y était merveilleuse, mais ce que j'attendais avec le plus d'impatience, c'était mes discussions avec Haim, souvent le vendredi. Ces moments étaient précieux, empreints de cette même passion qu'il mettait dans ses enseignements. Grâce à lui, j'ai pu soutenir ma thèse de troisième cycle en 1980, sur le sujet des « équations du type  $Au + Bu = f$  avec  $A$  linéaire et  $B$  non linéaire. Applications », puis, en 1982, ma thèse d'état, intitulée « Solutions périodiques non triviales d'une équation des ondes ».

Nos collaborations se sont poursuivies de manière intensive tout au long des années 1980. Nous avons exploré ensemble des équations presque invariantes par des groupes non compacts — comme celles concernant les surfaces à courbure moyenne prescrite ou les applications harmoniques en dimension 2 — ainsi que l'énergie de Dirichlet des applications d'un domaine de l'espace ambiant dans les sphères (avec E. Lieb). Nos séances de travail se déroulaient souvent dans l'appartement parisien de Haim, avec une vue imprenable sur un jardin magnifique. Je me souviens de ces moments comme d'échanges intellectuels intenses, où Haim, avec sa vaste culture mathématique, me laissait sans cesse émerveillé par l'efficacité et la brillance de ses idées. Ces séances étaient rythmées par des discussions animées, interrompues seulement par le déjeuner — toujours délicieux —, moment où Haim nous entraînait dans des conversations passionnantes sur des sujets allant des mathématiques aux religions, en particulier juive et catholique.

Haim m'invitait également dans de nombreux endroits à travers le monde où il exerçait, comme Princeton, Rutgers, Jérusalem ou Haïfa. Chaque fois, son accueil, tout comme celui de son épouse Michal, était d'une chaleur inoubliable. Il m'apportait son aide bien au-delà des mathématiques, dans des questions plus pratiques, comme me dénicher une bicyclette d'occasion ou un berceau pour

ma fille aînée. L'un de mes souvenirs les plus chers reste ses visites guidées de Jérusalem qu'il organisait avec un enthousiasme palpable. Il était évident que cette ville occupait une place toute particulière dans son cœur.

Tout au long de ma carrière, Haim a été une présence inestimable, un soutien indéfectible et ceci dès mes débuts à l'école Polytechnique, où il a su déjà me guider et m'a même permis de remporter le prix d'option! Même après ma transition vers la théorie du contrôle, au début des années 1990, son aide est restée très forte. Merci, Haim, pour tout.

## 4 Myriam Comte<sup>7</sup> – Une très grande admiration et un très profond respect

Lorsque je préparais mon agrégation à Lille, un de mes professeurs qui faisait passer les oraux de Polytechnique me dit 'Mademoiselle ce serait dommage que vous arrêtiez maintenant'. Je lui demandais alors de me conseiller sur la suite possible et, sans hésiter, il me proposa le DEA d'analyse numérique à Paris 6. C'est là que j'ai fait connaissance du Professeur le plus formidable de toute ma carrière : Haim Brezis! Un enseignant sérieux, rigoureux qui faisait participer les étudiants et les écoutait attentivement avant de répondre : un pédagogue extraordinaire! Ne sachant pas à l'époque qu'Haim Brezis était un Professeur mondialement connu et très sollicité, je lui demandais à la fin des cours s'il voulait bien me donner un sujet de thèse. Il a réfléchi et a répondu : « Vous participez bien en cours, je suis d'accord ». Il me donna en septembre 1988 un sujet sur les exposants de Sobolev. À l'époque il avait démontré avec Louis Nirenberg un résultat d'existence de solutions sur les boules de  $\mathbb{R}^3$ . Plus précisément, soit  $\Omega$  est une boule de  $\mathbb{R}^3$  alors le problème

$$\begin{cases} -\Delta u &= u^5 + \lambda u \text{ sur } \Omega \\ u &> 0 \text{ sur } \Omega \\ u &= 0 \text{ sur } \delta\Omega \end{cases}$$

admet uniquement une solution si  $\lambda \in ]1/4\lambda_1, \lambda_1[$  où  $\lambda_1$  est la première valeur propre de  $-\Delta$  sur  $\Omega$ . Par ailleurs, il n'y en avait pas pour  $\lambda \geq \lambda_1$  et  $\lambda \leq 0$ . Mon sujet était donc de trouver ce qui se passait pour  $\lambda \in ]0, 1/4\lambda_1[$ .

Haim partit à Rutgers de septembre à décembre... et moi, je ne trouvais rien sur cet intervalle! Je décidais donc de regarder ce qui se passait pour  $\lambda \geq \lambda_1$  sans condition de positivité de la solution. Lorsqu'à son retour, je lui exposais mes

7. Laboratoire Jacques-Louis Lions/ Polytech Sorbonne, Faculté des sciences et ingénierie, Sorbonne Université; [myriam.comte@sorbonne-universite.fr](mailto:myriam.comte@sorbonne-universite.fr).

résultats, il commença par s'étonner en me disant que ce n'était pas ce qu'il m'avait demandé. Je lui rétorquais que je n'avais rien trouvé dans l'intervalle qu'il m'avait donné, mais qu'en revanche j'avais des résultats d'existence pour tout  $\lambda \geq \lambda_1$ . Je pense que cela lui a plu car Haim m'a ensuite fait rencontrer Mariette Knaap, une de ses étudiantes hollandaises, avec laquelle j'ai écrit plusieurs articles. Deux ans plus tard, Haim trouva que j'étais prête pour soutenir ma thèse. En poste à l'université Pierre et Marie Curie, je croisais Haim en septembre 1991 et lui annonçait que j'étais enceinte ... et que j'attendais des triplés! Il m'a félicitée et dès que j'ai eu le dos tourné a dit « C'est une catastrophe! ». Les deux ans qui ont suivi, je n'ai rien pu faire en Recherche. Lorsque j'ai sorti la tête de l'eau, Haim m'a dit qu'il allait me donner un sujet facile pour me remettre le pied à l'étrier. Et là, je ne trouvais rien, mais vraiment rien. Un jour que j'étais dépitée dans la salle de café du laboratoire, j'ai rencontré Petru Mironescu. Nous avons parlé et lorsque je lui ai expliqué le sujet, il a ri en disant que cela faisait plusieurs mois qu'il travaillait dessus et qu'il n'avait rien trouvé non plus! Je pense que les deux sujets de recherche que j'ai évoqués sont encore ouverts aujourd'hui mais que Haim était très curieux de connaître le résultat.

Un autre souvenir que j'ai, est l'organisation du colloque pour les soixante ans de Haim Brezis en 2004. Sachant l'importance qu'il accordait à ses élèves, je lui avais promis de faire une « galaxie dynamique » de ses « descendants ». Il attendait avec impatience le résultat : un CD et un poster avec tous ses élèves jusqu'en 2004. Il suffisait de faire tourner le programme pour voir la forme de la galaxie changer. Il était très heureux de recevoir ce genre de cadeau.

Nous avons eu avec Haim un échange de courrier lors du décès de Louis Nirenberg en janvier 2020 et il m'avait écrit qu'il avait eu le privilège de vivre une époque, maintenant révolue, où les relations humaines entre les mathématiciens étaient très chaleureuses.

Le dernier message que nous avons échangé était pour son prix « 2024 Steele Prize for Lifetime Achievement » : je le félicitais et lui écrivais le bonheur de l'avoir eu comme directeur de thèse. Qu'il avait été un modèle pour moi.

Il le reste.

## 5 Laurent Véron<sup>8</sup> — Haim Brezis, un maître et un ami

J'ai rencontré Haim juste après ma maîtrise à l'automne 1970 lors de mon inscription en troisième cycle à Paris 6. Je n'avais aucune idée des enseignements

8. Institut Denis Poisson, CNRS UMR 7013, Université de Tours; [Laurent.Veron@lmpt.univ-tours.fr](mailto:Laurent.Veron@lmpt.univ-tours.fr).

que je devais suivre et encore moins du choix d'un maître de stage, essentiellement entre Marcel Brelot et Haim Brezis, deux mathématiciens dont j'ignorais tout. C'est sur les conseils éclairés de la secrétaire du Laboratoire d'Analyse Numérique, madame Damperat, que j'ai choisi la jeunesse. Le cours que donnait Haim était décoiffant pour quelqu'un dont les connaissances en EDP se limitaient au cours semestriel de maîtrise d'Yvonne Choquet sur les distributions et l'introduction aux espaces de Sobolev : son fil directeur était l'étude de la régularité des solutions d'équations elliptiques non-linéaires associées à des perturbations multivoques. Tout se déroulait dans les espaces de Sobolev fractionnaires. Dur, dur pour les débutants ! La salle de cours était remplie d'auditeurs mais nous nous retrouvâmes juste trois pour passer l'examen, l'un des impétrants étant Alain Haraux. Lui et moi avons pu compter sur la mansuétude de Haim et nous fumes reçus. Après une année d'interruption pour cause de préparation à l'agrégation, je commençais ma thèse classiquement d'abord sur les équations du second ordre dans les espaces de Hilbert, puis sur leur extension à des espaces de Banach, et là c'était beaucoup plus difficile, et enfin sur l'étude des singularités des équations elliptiques non-linéaires.

Des sujets qu'il avait suggérés et qui ont connu de beaux développements. Cela m'a mené à la thèse et à une carrière académique classique en France via Northwestern University et le SISSA. Par l'intermédiaire de Haim et d'Eugène Dynkin j'avais commencé à développer des échanges avec Shoshana Kamin à Tel-Aviv et Moshe Marcus au Technion de Haifa. La collaboration avec Moshe nous a permis de développer une théorie fine des traces de solutions d'EDP non-linéaires dont Haim avait eu l'intuition. Ces travaux m'ont amené à effectuer de fréquents séjours en Israël et à développer une relation plus étroite avec Haim et sa famille sur des sujets non mathématiques mais portant sur l'histoire ancienne ou récente et en particulier sur la Shoah. Il se trouve que mon grand père, Jules Lafue, alors trésorier payeur général de Corrèze à Tulle, avait oeuvré pour aider la résistance et cacher des familles juives pourchassées, familles que ma mère accompagnait ensuite en Espagne. De son côté Haim, né près de Clermont-Ferrand dans des conditions de menace permanente était très sensible à tout ce qui pouvait aider à maintenir la mémoire de ce drame. La famille de Michal Govrin, son épouse, avait été marquée de façon très douloureuse par la terreur nazie. Nous en avons parlé d'abord de façon informelle. C'est lors d'un dîner qui nous a réunis à Haifa que Michal et Haim m'ont convaincu de l'importance du témoignage à entretenir et qu'un moyen très fort était de préparer et de déposer un dossier de reconnaissance de Justes entre les Nations. De retour en France j'ai d'abord eu à convaincre ma mère qui avait trouvé tout cela très normal, en accord avec sa foi. Un dossier fut déposé à Paris, il suivit sa route à Jérusalem

et la reconnaissance vint en 2007 avec comme conséquence l'inscription sur le Mur des Justes à Yad Vashem.

Je savais Haim très marqué par le décès de son frère David et souffrant d'une scoliose sévère. Je le savais aussi très heureux de se retrouver grand-père. Je l'avais vu la dernière fois en juin 2019 lors de la conférence pour son 75e anniversaire, toujours aussi enthousiaste et chaleureux. Mon dernier contact remonte au 10 octobre 2023, dans des circonstances si dramatiques pour Israël. Le mail d'Itai Shafir annonçant la disparition de Haim a été un choc douloureux tellement inattendu qu'on a encore des difficultés à l'admettre. La présence de Haim, son sourire radieux vont nous manquer, mais son oeuvre et sa manière de penser demeureront parmi ses élèves, leurs descendants, ses collaborateurs et tous ceux qui sauront s'en inspirer.

## 6 Jean Mawhin<sup>9</sup> — Haim Brezis : des souvenirs en pêle-mêle

Haim Brezis, rencontré pour la première fois en 1972, a croisé ma route tant de fois en plus de cinquante ans que faire un choix est difficile. Voici quelques souvenirs, dans l'ordre où ils me sont revenus en mémoire. Ils n'insistent pas sur la valeur exceptionnelle du mathématicien : elle était évidente. Ils n'épuisent pas les beaux traits de sa personnalité : il y en avait trop.

Un aspect fondamental du caractère de Haim était sa pugnacité : un des secrets, avec son talent, de sa brillante carrière de mathématicien. Elle pouvait se révéler en d'autres circonstances. Lors d'un congrès à Pise en 2000, une promenade me mena par hasard devant l'entrée du cimetière juif de la ville. Le visitant par curiosité, j'eus la surprise d'y trouver la tombe de Mario Schauder. Il ne s'agissait pas, bien sûr, du père du théorème du point fixe ou des estimations de Schauder. Assassiné par les nazis dans un lieu inconnu, le mathématicien polonais n'eut jamais de sépulture. C'était la tombe de son frère Mario, qui eut la chance de quitter la Pologne avant l'invasion allemande, et devint professeur de physique dans un lycée de Pise. Informé de cette « découverte », Haim jugea qu'une visite de ce cimetière était indispensable, et embarqua Louis Nirenberg dans l'expédition. Trouvant le lieu fermé et obligé de quitter Pise avant sa réouverture, Haim se démena pour contacter les responsables et les convaincre d'ouvrir le cimetière pour une visite privée. S'est-il souvenu que son premier travail publié était un exposé sur le théorème du point fixe de Schauder dans le

9. IRMP, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique; [jean.mawhin@uclouvain.be](mailto:jean.mawhin@uclouvain.be).

cadre du Séminaire Choquet ?

Dans le même ordre d'idées, être invité par Haim Brezis, ou le retrouver dans un lieu qu'il connaît bien, n'allait pas sans quelques contraintes, bénignes mais incontournables, destinées à optimiser votre séjour. Il vous attendait avec une liste de lieux indispensables à visiter (un marché, un musée, un parc, un point de vue, ...) et d'objets locaux à ramener à la maison. Il ne manquait pas de vérifier, par un interrogatoire minutieux, si ses suggestions avaient bien été suivies. Lorsque mon épouse m'accompagnait, elle se chargeait volontiers de ces « devoirs » pendant que je m'adonnais aux mathématiques. Bien meilleure touriste que moi, elle faisait rapport à Haim avec un enthousiasme qui le ravissait, et me permettait d'échapper au périlleux « examen ». Elle lui a même révélé des endroits qu'il ignorait, et qui ont étoffé sa liste !

Je ne sais pas si c'était le cas pour d'autres mais, lorsque Haim m'invitait, il me demandait rarement un titre pour mon exposé. Il choisissait son préféré dans mes articles récents et le mettait au programme. Ce fut le cas pour un travail faisant intervenir un peu de théorie des nombres dans l'étude de cordes vibrantes. Lors d'un séjour à Rutgers en 1999, Haim avait décidé que j'en parlerais au séminaire commun organisé à Princeton avec Jean Bourgain. Au début de l'exposé, l'énoncé du résultat (élémentaire) de théorie des nombres utilisé suscita immédiatement un impérieux « C'est faux ! » de Jean Bourgain, assis, avec Haim, au premier rang. J'ai rarement vu Haim blêmir de la sorte. Vu la simplicité du résultat, j'entamais sans délai sa courte preuve, et Bourgain nous rassura après quelques secondes d'un « C'est vrai ! » catégorique. Haim reprit des couleurs et la conférence se poursuivit paisiblement.

L'amitié était un élément essentiel de la vie de Haim et il savait la traduire en attentions délicates. Lors de ce même séjour à Rutgers, le hasard voulut qu'un après-midi, une secrétaire soit chargée de porter des documents à Felix Browder. Ce dernier résidait à Princeton et n'en sortait guère, handicapé par des problèmes de locomotion et par la maladie de son épouse. Haim pensa aussitôt que ma visite pourrait lui faire plaisir et le distraire. Il me proposa d'accompagner la secrétaire, ce que j'acceptai sans hésiter. La visite fut des plus agréables car Felix, s'il se déplaçait difficilement, avait conservé sa légendaire agilité d'esprit, sa mémoire encyclopédique et sa verve intarissable. L'initiative de Haim avait fait deux heureux.

Certains connaissent mon intérêt pour l'équation du pendule forcé, mon seul rival dans le domaine étant un autre Belge, le professeur Tournesol. Depuis le début des années 2000, je m'intéressais au pendule forcé avec accélération relativiste. Dans le cas classique, certaines conditions d'existence ne s'obtenaient que par des méthodes variationnelles. Le principe de moindre action ne condui-

sait plus, dans le cas relativiste, à l'équation différentielles cherchée, mais à une inéquation variationnelle. Il fallait améliorer la régularité de la solution pour retrouver l'équation. En venant à Rutgers en 2009, ce problème me semblait idéal pour l'aborder avec Haim et lui rappeler ses amours de jeunesse. Il manifesta d'abord un intérêt poli : retourner dans le passé ne l'excitait guère. Mais la singularité du problème périodique par rapport à son expérience pour celui de Dirichlet retint de plus en plus son attention. La fréquence croissante des coups de téléphone en soirée en témoignait ouvertement. En fin de compte, le problème fut résolu sans recours aux méthodes du passé, par une approche originale qui a servi d'inspiration à d'autres.

La qualité pédagogique et la richesse du contenu des ouvrages écrits par Haim Brezis a été mondialement reconnue et louée. Son livre d'analyse fonctionnelle n'est devancé que par la Bible, les romans de Simenon ou les aventures de Tintin pour le nombre de traductions en langues étrangères. Le discours de présentation de Haim Brezis comme docteur *honoris causa* de l'Université Catholique de Louvain en 1996 ne pouvait pas laisser cet aspect dans l'ombre. Plutôt que d'en louer la clarté et la richesse, il m'a suffi de rappeler que la version française de l'ouvrage avait été le livre le plus souvent volé dans notre bibliothèque. On se demanda même s'il ne conviendrait pas de l'assurer. Dans son discours de réception comme docteur louvaniste, Haim rappela que, dans son enfance, il traversa souvent la Belgique en venant passer ses vacances chez ses grands-parents maternels à Scheveningen, aux Pays-Bas. Ils avaient même poussé le zèle jusqu'à habiter dans la Leuvenstraat, la rue de Louvain !

Dans le même discours, Haim insista aussi sur sa vision des mathématiques comme création de l'esprit humain et sa grande admiration pour Henri Poincaré. Elle avait commencé en rédigeant, avec Felix Browder, un très bel article sur l'histoire des équations aux dérivées partielles au XX<sup>e</sup> siècle. Il lui avait fait découvrir, à côté de ses contributions originales sur les équations elliptiques, la vision prophétique de Poincaré sur leur rôle en mathématiques et en physique. Comme spécialiste des équations différentielles ordinaires non linéaires, mon admiration pour le grand mathématicien français remontait à mes années d'études, une période où le Bourbakisme triomphant avait envoyé Poincaré au purgatoire. Cela m'avait permis d'acheter ses ouvrages à des prix défiant toute concurrence, avant que le chaos ne réhabilite Poincaré. En 2000, Haim organisa à Paris de passionnantes « Journées Henri Poincaré », où il me chargea de décrire la vie du savant. Le rôle important de Poincaré dans l'affaire Dreyfus l'intéressa beaucoup. Il y a dix ans, à Sao Carlos au Brésil, Haim consacra l'entièreté de sa conférence à expliquer comment et pourquoi Poincaré était devenu son héros. Je regrette d'avoir oublié de demander l'adresse du fourreur de la rue Claude-

Bernard, quand il a découvert que Poincaré y passa une grande partie de sa vie.

Chacun connaît l'opposition entre Fourier et Jacobi sur le rôle des mathématiques : « l'explication des phénomènes naturels » ou « l'honneur de l'esprit humain ». L'œuvre mathématique de Haim Brezis est ce qu'on a fait de mieux pour les réconcilier.

## 7 Jesús Ildefonso Díaz<sup>10</sup> et Juan Luis Vázquez<sup>11</sup> – L'école espagnole de Brezis

### Un jeune *maestro*

Au début des années 70, un jeune Brezis faisait sensation parmi les experts par sa maîtrise de l'analyse fonctionnelle appliquée aux EDPS non linéaires et son intérêt pour les applications qui occupaient alors les grandes figures mathématiques qu'il rencontrait. Il avait un esprit prodigieux qui savait trouver rapidement la solution à un problème là où d'autres ne pouvaient pas le faire et l'exprimait avec passion et élégance. Sa vision reposait souvent sur la recherche de liens subtils entre les multiples concepts utilisés pour couvrir des phénomènes apparemment très divers et sur le rapprochement des résultats obtenus avec la « théorie classique de l'analyse ». À sa créativité visionnaire, il ajoutait un instinct précis pour détecter ce qui était important. Son immense œuvre, rassemblée dans sa liste de publications, entièrement accessible sur

<https://sites.math.rutgers.edu/~brezis/publications.html>

est associé à des concepts issus de l'analyse des équations non linéaires, tels que les opérateurs maximaux monotones, les semigroupes non linéaires de contractions, les inégalités variationnelles, le concept approprié de solution faible, les solutions à support compact représentant la propagation finie, les singularités, les équations de Ginzburg-Landau, etc.

### Les débuts de l'école espagnole de Brezis

Haïm a eu une influence décisive en Espagne en peu de temps. Sa première visite au Département d'Équations Fonctionnelles de l'Universidad Complutense de Madrid a eu lieu en 1974 à l'invitation d'A. Dou et de M. de Guzmán (suivant la proposition de J.L. Andrés Yebra, élève de J.-L. Lions, retourné à Madrid).

10. Université Complutense de Madrid, Espagne; [jidiaz@ucm.es](mailto:jidiaz@ucm.es).

11. Universidad Autónoma de Madrid, Espagne; [juanluis.vazquez@uam.es](mailto:juanluis.vazquez@uam.es).

Dans ces années-là, l'Ambassade de France en Espagne a joué un rôle de mécénat d'une importance capitale compte tenu de la situation scientifique encore précaire dans notre pays.

Les conséquences de cette première visite, qui fut suivie de nombre d'autres voyages de divers espagnols à Paris et dans d'autres lieux où Haïm visitait, cristallisèrent avec les thèses de doctorat des auteurs de cette nécrologie (respectivement en 1976 et 1979) essentiellement concentrées sur des solutions avec support compact d'équations semi-linéaires et aussi quasi-linéaires (telles que les équations dites des milieux poreux et de la digue) et les singularités isolées : ce sont des sujets où Brezis avait déjà écrit des travaux pionniers. A nos thèses il faut ajouter celles de J. Hernández (1977), M.A. Herrero (1979), J. Carrillo (1981) et M. Escobedo (1988). Sa contribution à la formation de nombreux autres espagnols a également été remarquable (G. Díaz (1980), F. Bernis (1982), X. Cabré (1998), D. Gómez-Castro (2015), etc.). Par exemple, Haïm s'est rendu à Séville en 1978, à l'invitation d'Antonio Valle, grand promoteur des relations avec la France, et l'on connaît également des visites à Grenade, Bilbao et dans d'autres universités espagnoles. Même des spécialistes espagnols de l'analyse numérique avec applications industrielles, comme A. Bermúdez de Castro, ont utilisé intensivement les résultats de Brezis pour montrer la convergence de certains de leurs arguments.

Pour faire justice à l'histoire de cette époque initiale, il est important de souligner que Brezis a veillé à ce que l'un de ses plus proches collaborateurs, Philippe Bénilan (1940-2001), soit aussi impliqué dans nos avancées spécifiques, puisque Haïm était si occupé et souvent ailleurs et il tenait à ces élèves à Madrid. Le choix fut superbe et Philippe, premier doctorant de Brezis, devint un grand mathématicien qui était ami, collaborateur et une sorte de conseiller pour plusieurs de nous depuis cette époque.

## Un style et une influence directe

La grande contribution de Brezis (contrairement à d'autres personnalités étrangères qui ont également dirigé des thèses méritoires à des Espagnols déplacés hors de nos frontières) a été le soin extrême qu'il a apporté aux carrières de recherche de ses étudiants, en les insérant dans une communauté internationale qui a favorisé la collaboration de recherche qui existait à peine dans notre pays. Haïm a collaboré très activement au lancement de nouvelles revues mathématiques en Espagne.

Par exemple, Haïm a publié, avec le deuxième auteur de cette nécrologie, un article important dans la nouvelle Revista Matemática Complutense (RMC), en

1997. Cet article traitait d'un problème classique, déjà abordé par Lord Kelvin pour modéliser une boule de gaz isotherme en équilibre gravitationnel : modèle qui fut ensuite utilisé dans la description de certaines configurations d'équilibre en combustion par de nombreux auteurs, entre autres I. M. Gelfand (1959). L'équation est simple,  $\Delta u + \lambda f(u) = 0$ , posée dans un domaine borné  $\Omega$  dans l'espace à  $n$  dimensions et  $f \geq 0$  croissante et convexe et  $u = 0$  sur le bord. On montre qu'il existe un  $\lambda^* > 0$ , appelé paramètre extrême, tel que l'équation n'a de solutions énergétiques que pour  $\lambda < \lambda^*$ . Dans le travail, on prend en particulier une non-linéarité  $f$  de type exponentiel et on montre que pour les dimensions  $n > 9$  la solution extrême ne peut pas être bornée : en fait elle a une singularité logarithmique. Un outil clé a été le perfectionnement par les auteurs de la fameuse «inégalité de Hardy avec la meilleure constante» et l'estimation de son reste. Une fois de plus, les mathématiques «abstraites» clarifient la compréhension d'un sujet appliqué à la science, en l'occurrence celui de la mécanique des fluides. Les nombreuses citations que cet article a reçues ont bénéficié à la reconnaissance internationale de la revue RMC.

Brezis a également fourni un travail de mécénat similaire lors du lancement de la revue RACSAM. Elle fut lancée et dirigée depuis 2000, par le premier signataire de cette notice biographique. Brezis a immédiatement contribué en envoyant un article sur un sujet très actif qui a ensuite conduit finalement à son dernier livre avec P. Mironescu en 2021. Cela a suscité de nombreuses citations et, grâce au soutien initial de ce calibre avec d'autres remarquables mathématiciens, RACSAM est désormais classée parmi les meilleures revues du monde (actuellement distribuée par Springer-Verlag, RACSAM est placée dans le premier quartile de la liste des revues du Journal Citation Report in Mathematics).

Haïm a eu une influence décisive en encourageant ses étudiants à rédiger leurs principaux résultats de manière claire et argumentée, sans refuser d'y consacrer le temps nécessaire. De là, nous voudrions montrer notre dette envers son enseignement en rappelant deux de nos livres, respectivement en Pitman (1985) et Oxford University Press (2007), qui portent des traces évidentes de son style et de ses intérêts, car ils traitent de problèmes qui font partie de son héritage.

## Influence permanente

Son travail dans la promotion des mathématiques espagnoles a été reconnu par sa nomination comme membre étranger de la Real Academia de Ciencias de España en 1999, et comme Docteur Honoris Causa par l'Universidad Autonoma de Madrid en 2002. Brezis a été le principal moteur français de l'accord entre les Académies des Sciences française et espagnole signé à Paris en 2002 (le premier

accord dans l'histoire de notre pays) et de la célébration à Paris, en 2003, d'un Congrès conjoint entre les deux académies, dont les actes ont été publiés dans la revue RACSAM, éditées par lui et le premier signataire de cette nécrologie en 2003.

Ses livres, écrits dans un style d'une grande élégance et clarté, restent des manuels dans de nombreuses universités à travers le monde. Son livre [Br83] «Analyse Fonctionnelle Théorie et Applications» était une lecture incontournable pour beaucoup d'entre nous et a façonné une toute nouvelle philosophie pour adresser les problèmes de mathématiques appliqués. La version espagnole a été la première à paraître à l'étranger (traduite par J.R. Esteban, 1984). A notre avis, Brezis a également été un des meilleurs conférenciers mathématiques que nous avons eu le plaisir de rencontrer.

La marque du maître restera à jamais et servira d'exemple aux générations futures.

## 8 Vilmos Komornik<sup>12</sup> — Mes souvenirs de Haim Brezis

Après mes premières recherches en analyse, j'ai désiré me tourner vers les EDP. Cette discipline n'avait pas de tradition en Hongrie (faute de poste en Hongrie, Marcel Riesz, jeune frère de Frédéric Riesz, a fondé l'école d'EDP en Suède). J'ai obtenu une bourse d'études de six mois au Collège de France, sous la direction de Jacques-Louis Lions.

Pour préparer mon séjour, Lions m'a envoyé une version préliminaire de son dernier livre sous presse et, à sa demande, Brezis m'a aussi envoyé une dizaine de ses articles. J'étais impressionné aussi bien par leurs gestes que par la qualité scientifique et pédagogique des documents reçus.

Pendant mon séjour à Paris en 1982–83, je suivais assidument les cours de Lions et le séminaire de Brezis–Lions. J'ai beaucoup appris en écoutant les exposés des spécialistes de haut niveau, venant du monde entier. Une semaine avant la fin de mon séjour, Gérard Tronel m'a prêté sa copie personnelle du nouveau livre d'Analyse fonctionnelle de Brezis, pas encore disponible en librairie. J'ai passé les derniers jours de mon séjour à le lire, émerveillé par sa présentation élégante des espaces de Sobolev et des EDP.

Après mon retour à Budapest, j'ai donné un cours à l'université basé sur ce livre. L'un des étudiants a été tellement impressionné, qu'il a fait ensuite une thèse sous la direction de François Trèves, puis il est devenu professeur aux USA.

<sup>12</sup>. Département de mathématique, Université de Strasbourg; vilmos.komornik@math.unistra.fr.

J'ai essayé de faire publier une traduction hongroise du livre et Brezis a très gentiment renoncé aux droits d'auteur. Malheureusement, malgré les recommandations d'Ákos Császár, président de la section mathématique de l'Académie des Sciences, je n'y suis pas parvenu durant ces années chaotiques en Hongrie.

Lors de mon prochain séjour à Paris en 1984, Brezis m'a permis de photocopier (pour mon usage personnel) une version préliminaire de son livre d'exercices d'analyse fonctionnelle. Ainsi, j'y avais accès 25 ans avant qu'il soit enfin publié (en anglais).

J'ai entamé une collaboration avec Alain Haraux en 1984 et il m'a invité pour trois mois à Paris en 1986. Ceci m'a permis de suivre le cours historique de Lions sur la contrôlabilité exacte, ainsi que le cours de Brezis sur les méthodes d'analyse non-linéaire et applications aux équations aux dérivées partielles. Ce sont les deux cours de recherche qui m'ont fait la plus grande impression durant toute ma carrière. Il est dommage que les notes de Brezis ne fussent jamais publiées. Outre ses propres résultats en collaboration avec L. Nirenberg, il a exposé un grand nombre de théorèmes profonds dans de nombreux domaines de mathématiques (résultats d'Ambrosetti–Rabinowitz, Ekeland, von Neumann, Stampacchia, Pohozaev, Kazdan–Warner, ...), il a présenté des améliorations surprenantes des théorèmes de Fatou et Sobolev, et il a révélé des liens cachés entre les méthodes topologiques, variationnelles, de dualité et de la théorie de Morse.

Pendant mon séjour j'ai pu présenter nos résultats avec Haraux au séminaire de Brezis–Lions. Je me souviens de ma nervosité à parler dans un amphithéâtre rempli, devant tant de grands chercheurs comme Leray, Lions, Brezis, ou encore Calderón en compagnie d'Yves Meyer, arrivés directement de l'aéroport au moment où j'ai commencé mon exposé. Suite à ma conférence, Brezis m'a proposé son aide pour publier mes travaux futurs, dont j'ai bénéficié pendant plusieurs années.

Outre la grande valeur scientifique des travaux de Brezis, j'ai particulièrement apprécié l'élégance exceptionnelle de ses cours et exposés. Parmi les mathématiciens français que je connaissais, il était le plus proche de la tradition hongroise de Fejér, Riesz, Pólya et Erdős, en considérant les mathématiques comme un art, plutôt qu'une science. Je me souviens d'un workshop en honneur de Jean Leray en 1986, où Leray lui-même n'a pas pu cacher son enthousiasme en écoutant l'exposé de Brezis sur une nouvelle théorie de points fixes.

Malheureusement, je n'ai pas eu l'occasion de collaborer avec lui en recherche, mais ses travaux, exposés et livres ont eu un très grand impact sur moi. Je me considère très chanceux de l'avoir connu.

## 9 Petru Mironescu<sup>13</sup>

Étudiant en Roumanie, à Bucarest, dans les années 80, j'ai grandi, en analyse, avec 'les Rudin' (Analyse réelle et complexe, Analyse fonctionnelle). Vers la fin de mes études, j'ai rencontré George Dincă, l'un de mes professeurs, qui utilisait les inégalités variationnelles et les opérateurs maximaux monotones (domaines dans lesquels l'influence scientifique de Haim Brezis est considérable) pour aborder des problèmes issus de la mécanique du solide. Dans ses cours d'analyse fonctionnelle, il utilisait 'le Brezis' d'Analyse fonctionnelle, dont il avait le seul exemplaire disponible à l'époque à Bucarest. Avant de connaître le chercheur Haim Brezis, j'ai donc étudié son best-seller universitaire, d'abord comme étudiant, ensuite comme chargé de TD. George Dincă eut par la suite l'occasion de me parler de l'influence considérable des travaux de Brezis, le chercheur cette fois-ci, à Bucarest, dans le groupe d'analyse appliquée, et à Iași, un autre grand centre universitaire roumain, sur les travaux concernant les équations d'évolution et les opérateurs maximaux monotones de Viorel Barbu et de son école. J'ai retrouvé par la suite, en tant que chargé de TD de Haim, l'occasion d'utiliser son merveilleux livre comme support pédagogique.

Lorsque le bloc de l'Est s'est ouvert vers le monde, au début des années '90, j'ai pu poursuivre mes études en France, dans le cadre d'un programme porté par Doina Ciorănescu, ce qui a débouché sur une thèse encadrée par Haim. La première et la deuxième partie de la thèse portent sur deux sujets différents, témoignant de la diversité de ses centres d'intérêt et de la dynamique exceptionnelle impulsée par Haim auprès de ses étudiants, collaborateurs et disciples.

Pendant la thèse, j'ai suivi trois de ses cours avancés. C'étaient des événements dont on peut difficilement imaginer le retentissement, la profondeur, la qualité pédagogique, et l'impact sur la recherche. Pour commencer, souvent, dans la salle qui pourtant était grande, il n'y avait plus de place, et on y apportait des chaises d'autres salles. Le public était varié : des étudiants du DEA de mathématiques appliquées de Paris 6 (conjoint avec l'ENS), mais également des chercheurs du Laboratoire d'Analyse Numérique (l'actuel Laboratoire Jacques-Louis Lions) et des étudiants ou doctorants qui se destinaient à d'autres domaines des mathématiques. On y venait pour ses études, pour les légendaires problèmes ouverts de Haim, mais également parce que le cours était tellement brillant que l'on se sentait aux premières loges de l'enseignement de la Science. Ses problèmes ouverts ont marqué des générations, et certains font maintenant partie du folklore et ont traversé le temps. Leur diffusion se faisait, entre autres,

13. Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard Lyon 1; [mironescu@math.univ-lyon1.fr](mailto:mironescu@math.univ-lyon1.fr).

sur des nappes en papier, que Haim utilisait lors de la pause déjeuner pour présenter ses idées, que ce soit en conférences ou en visite à l'étranger... En 2019, j'ai eu le plaisir d'écouter Alessio Figalli, arrière-petit-fils spirituel de Haim, présenter la solution d'un problème que Haim avait posé en cours au début des années 90.

En suivant ces trois cours, j'ai pu entrevoir comment Haim posait son regard sur trois domaines qu'il aura profondément marqué de son empreinte : les équations elliptiques semilinéaires, les équations d'évolution semilinéaires, et la toute nouvelle alors théorie de Ginzburg-Landau, qu'il venait de développer avec Fabrice Bethuel et Frédéric Hélein. Ce dernier cours en particulier était irrigué de problèmes ouverts qui ont occupé les mathématiciens pendant une quinzaine d'années. Certains résistent encore et sont repris dans l'article 'Some of my favorite open problems', l'un des tous derniers textes qu'il a écrits.

En regardant en arrière, je vois dans ces cours remarquables non seulement une illustration de son immense talent de conférencier et de sa compréhension holistique des mathématiques mais, également, de son respect pour le public, qu'il soit lecteur, auditeur, étudiant, doctorant ou chercheur. Cette exigence, Haim l'avait en premier vis-à-vis de lui-même, mais également, de manière bienveillante, vis-à-vis de ses étudiants et collaborateurs. Mon premier contact avec cette exigence m'avait marqué à l'époque. En lisant mon premier manuscrit, sans doute très mal rédigé, il a diplomatiquement affirmé : « C'est très bien, mais je suggère deux-trois modifications ». À la fin de notre échange, la seule chose qui subsistait de la version initiale était le nom de l'auteur ... Pour avoir assisté à plusieurs de ses exposés et leçons, je peux témoigner de sa quête perpétuelle de clarté, généralité et simplicité. D'une année sur l'autre, la perspective s'élargissait et les preuves devenaient plus lumineuses. Haim a toujours cherché à ne pas utiliser de technologie inutile et à extraire la quintessence des énoncés et des preuves. Lorsque nous avons commencé à travailler sur un projet de monographie sur les espaces de Sobolev à valeurs dans le cercle, j'ai pu encore plus me rendre compte de son respect pour le lecteur. Les sections qu'il considérait comme clés pour la compréhension générale de la problématique ont été retravaillées à plusieurs reprises, et remodelées en fonction des réactions des lecteurs qui ont eu accès aux versions préliminaires du texte.

Pour illustrer cette quête, voici la brève histoire d'une question apparemment toute simple. Dans la théorie de Ginzburg-Landau, apparaît naturellement la question suivante : si  $u$  est une fonction complexe de module 1 dans le disque unité fermé, valant  $g$  sur le cercle unité, et si on écrit  $u = e^{iv}$  et  $g = e^{if}$ , est-il vrai que sur le cercle unité  $v$  vaut  $f$  (à un multiple de  $2\pi$  près)? La réponse dépend de la régularité des fonctions considérées. En lien avec cette question, Haim

(i) a développé, avec Louis Nirenberg, une théorie devenue classique des applications VMO vers les variétés (avec des racines dans un résultat de Louis Boutet de Monvel et Ofer Gabber); (ii) considéré et résolu la question de l'existence de  $v$  aussi régulière que  $u$  lorsque  $u$  appartient à un espace de Sobolev; (iii) obtenu, en lien avec la question de l'unicité de  $v$ , la 'formule BBM' qui permet de relier espaces de Sobolev entiers et fractionnaires; (iv) obtenu, avec Jean Bourgain, dans le prolongement de ces questions, des résultats d'une profondeur exceptionnelle sur l'inversion de la divergence. Pour la petite histoire, dans le cadre de la théorie de Ginzburg-Landau, la réponse à la question initiale tient en quelques lignes.

Pour faire écho au début de ce texte, je voudrais revenir sur l'influence de Haim sur les mathématiques roumaines. Avec Viorel Barbu, il a initié le colloque franco-roumain de mathématiques appliquées, arrivé actuellement à sa 16ème édition. Haim a formé directement quatre étudiants roumains, et on en trouve plusieurs dizaines parmi ses descendants. Au mois de septembre 2024, lors d'une conférence généraliste à l'Académie roumaine, dont Haim était membre étranger, j'ai évoqué quelques aspects de sa personnalité. Un sondage à main levée montrait que 20 % des participants travaillaient sur des thèmes proches de ceux qu'il avait portés pendant son exceptionnelle carrière. Et, pour finir, 'le Brezis' est maintenant un texte de référence, aussi grâce à sa traduction en roumain par Vicentiu Rădulescu, ancien étudiant de Haim.

Pour ceux qui l'ont connu, échanger avec Haim était un vrai bonheur. Très chaleureux, en particulier avec les jeunes chercheurs, il savait apporter confiance dans les moments de doute. Il nous manque terriblement...

## 10 Amandine Aftalion<sup>14</sup>

Le 7 juillet 2024, le professeur Haim Brezis, l'un des plus éminents mathématiciens français du XXe siècle et du début du XXIe siècle, nous a quittés. Un hommage magnifique est tout de suite sorti dans le quotidien espagnol El País. En effet, membre de l'académie des sciences espagnole, mais aussi bien sûr, des académies française et américaine, c'était un enseignant hors du commun avec des étudiants sur trois continents (Europe, Asie, Amérique, plus de 60 élèves en thèse et plus de 1100 descendants mathématiques, élèves de ses élèves ou élèves de ces derniers), qui a marqué des générations d'étudiants par sa clarté pédagogique, ses cours, ses livres et pour ceux qui ont eu la chance de le côtoyer, son enthousiasme. Ses collaborateurs et élèves sont dans un nombre considérable

<sup>14</sup>. Laboratoire de Mathématiques d'Orsay, CNRS et Université Paris-Saclay; [amandine.aftalion@math.cnrs.fr](mailto:amandine.aftalion@math.cnrs.fr).

de pays. C'est une grande famille qui s'est créée autour de lui à laquelle je suis heureuse d'appartenir. Il a participé à la tradition française d'analyse en mathématiques en créant une véritable école à travers le monde entier, de la Chine aux états unis et dans l'Europe entière. Il avait la capacité extraordinaire d'être toujours souriant, enthousiaste et d'encourager les plus jeunes. Haim Brezis a écrit des livres qui restent des références pour tous les étudiants, en particulier un livre d'analyse de niveau licence, analyse fonctionnelle, que tout le monde a dans sa bibliothèque, traduit dans beaucoup de langues, mais il avait écrit aussi un livre grand public, "Haim Brezis, la vie d'un mathématicien juif", où il explique comment, dans la tradition juive, la lecture de la Tora est source de créativité et de renouvellement. Cette créativité il l'a développée pour les mathématiques, dans cette tradition juive. Il trace aussi sa vision de l'identité d'Israël face au christianisme et face à la société française, question éminemment d'actualité.

Il était visionnaire pour comprendre ce qu'il restait à faire, restait à démontrer en mathématiques. Il dirigeait des collections de livres où il encourageait les plus jeunes à écrire. J'ai eu la chance qu'il m'ait fait confiance et m'ai proposé d'écrire un livre sur les « vortex ». Pour moi, cela a été une grande aventure, ce n'est pas toujours facile d'écrire un manuscrit cohérent et sans faute. Sans les encouragements renouvelés de Haim, ce livre n'aurait jamais vu le jour, comme beaucoup d'autres œuvres mathématiques j'imagine. J'ai eu la chance pendant de nombreuses années d'organiser son séminaire au laboratoire Jacques Louis Lions. Je garde à jamais gravés dans ma mémoire, pour m'accompagner dans ma vie, son sourire, sa confiance et son enthousiasme.

## 11 Alain Damlamian<sup>15</sup>

J'ai fait la connaissance de Haim à l'automne 1970, à mon retour de deux années de "Graduate Studies" à Harvard. Je commençais ma carrière comme Assistant à Orsay, et mon directeur Jacques Deny m'a proposé de faire ma recherche avec Haim, qui était alors plus qu'une étoile montante dans le domaine de l'Analyse nonlinéaire et les EDP. C'est ainsi que je me suis rendu régulièrement à Jussieu pour parler mathématiques avec Haim. Et je n'étais pas le seul venant d'Orsay. Philippe Bénilan avait déjà commencé un an avant avec la rédaction du cours de Haim sur les opérateurs maximaux monotones, et Hédya Atouch avait été aussi orienté vers Haim par Jacques Deny. Nous avons été tous les trois parmi ses tout premiers élèves.

Avec Haim, j'ai donc appris énormément sur les opérateurs maximaux mo-

15. LAMA, CNRS (UMR 8050) et Université Paris-Est Créteil; [damlamian@u-pec.fr](mailto:damlamian@u-pec.fr).

notones, mais aussi, sur tous les résultats qu'il semblait obtenir si facilement en les présentant dans ses cours successifs à Paris 6.

Hédy et moi avons alors commencé une collaboration de plus de cinq années, qui a culminé avec la soutenance de nos thèses d'Etat respectives en juin 1976, dirigées toutes les deux par Haim, et dont une partie était commune (c'était une nouveauté à l'époque).

Haim, comme tous les gens qui l'ont côtoyé l'ont rappelé, était un directeur de recherche remarquable, toujours à l'écoute, et donnant toujours des conseils judicieux.

Je voudrais terminer avec une courte anecdote, montrant combien Haim prenait soin de ses élèves.

Ayant été étudiant à Harvard, j'y ai soumis ma thèse de PhD en 1974 sur une partie des résultats que j'avais déjà obtenus (sur les équations d'évolutions associées à des opérateurs maximaux monotones avec des normes dépendant du temps). La tradition à Harvard est que c'est le directeur de la thèse qui présente la thèse à une réunion du département, hors de la présence du candidat, lequel est soumis ensuite aux questions de la faculté. A l'époque, Harvard n'était pas vraiment porté sur l'analyse non linéaire (mais bien plutôt sur la Topologie, la Géométrie et l'Algèbre...). Mon patron local, Lynn Loomis, sachant que Haim était pour l'été 1974 au Courant Institute à New York (où il avait des contacts depuis plusieurs années, en particulier avec Louis Nirenberg), l'a invité à Harvard, sachant qu'il pourrait lui demander de présenter mon travail (à sa place!). Haim, a accepté l'invitation. C'est ainsi :

- que le département de Mathématiques de Harvard a entendu parler probablement pour la première fois d'Opérateurs Maximaux Monotones;
- que Haim a fait sa première conférence à Harvard;
- et que j'ai obtenu mon diplôme de PhD (autant dire que les questions qui m'ont été posées étaient assez simples!)

Je savais que Haim n'était plus en bonne santé depuis quelque temps, mais j'ai été heureux d'avoir été contacté à l'occasion de la cérémonie de ses 80 ans en mai dernier, et à laquelle j'ai contribué en envoyant la photo de Haim prise à l'occasion de ses 60 ans à Gaeta. C'est ainsi qu'il restera à jamais dans ma mémoire.

## Références

- [1] Luigi AMBROSIO, Jean BOURGAIN, Haim BREZIS et Alessio FIGALLI. « BMO-type norms related to the perimeter of sets ». In : *Comm. Pure Appl. Math.* 69.6 (2016), p. 1062-1086. ISSN : 0010-3640. DOI : [10.1002/cpa.21620](https://doi.org/10.1002/cpa.21620). URL : <https://doi.org/10.1002/cpa.21620>.
- [2] Thierry AUBIN. « Équations différentielles non linéaires et problème de Yamabe concernant la courbure scalaire ». In : *J. Math. Pures Appl. (9)* 55.3 (1976), p. 269-296. ISSN : 0021-7824,1776-3371.
- [3] Philippe BÉNILAN, Haim BREZIS et Michael G. CRANDALL. « A semilinear equation in  $L^1(\mathbb{R}^N)$  ». In : *Ann. Scuola Norm. Sup. Pisa Cl. Sci. (4)* 2.4 (1975), p. 523-555.
- [4] Philippe BÉNILAN et Haim BREZIS. « Nonlinear problems related to the Thomas-Fermi equation ». In : *J. Evol. Equ.* 3.4 (2003). Dedicated to Philippe Bénilan, p. 673-770. ISSN : 1424-3199. DOI : [10.1007/s00028-003-0117-8](https://doi.org/10.1007/s00028-003-0117-8). URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s00028-003-0117-8>.
- [5] Fabrice BETHUEL, Haim BREZIS et Frédéric HÉLEIN. *Ginzburg-Landau vortices*. Progress in Nonlinear Differential Equations and their Applications, 13. Boston, MA : Birkhäuser Boston Inc., 1994, p. xxviii+159. ISBN : 0-8176-3723-0.
- [6] Jean BOURGAIN, Haim BREZIS et Petru MIRONESCU. « A new function space and applications ». In : *J. Eur. Math. Soc. (JEMS)* 17.9 (2015), p. 2083-2101. ISSN : 1435-9855. DOI : [10.4171/JEMS/551](https://doi.org/10.4171/JEMS/551). URL : <https://doi.org/10.4171/JEMS/551>.
- [7] Jean BOURGAIN, Haim BREZIS et Petru MIRONESCU. « Another look at Sobolev spaces ». In : *Optimal control and partial differential equations*. IOS, Amsterdam, 2001, p. 439-455. ISBN : 1-58603-096-5.
- [8] Anne BOUTET DE MONVEL-BERTHIER, Vladimir GEORGESCU et Radu PURICE. « A boundary value problem related to the Ginzburg-Landau model ». In : *Comm. Math. Phys.* 142.1 (1991), p. 1-23. ISSN : 0010-3616. URL : <http://projecteuclid.org/getRecord?id=euclid.cmp/1104248488>.
- [9] Haim BREZIS. « Elliptic equations with limiting Sobolev exponents—the impact of topology ». In : *Comm. Pure Appl. Math.* 39.S, suppl. (1986). Frontiers of the mathematical sciences : 1985 (New York, 1985), S17-S39. ISSN : 0010-3640. DOI : [10.1002/cpa.3160390704](https://doi.org/10.1002/cpa.3160390704). URL : <http://dx.doi.org/10.1002/cpa.3160390704>.

- [10] Haim BREZIS. « Équations et inéquations non linéaires dans les espaces vectoriels en dualité ». In : *Ann. Inst. Fourier (Grenoble)* 18.fasc. 1 (1968), p. 115-175. ISSN : 0373-0956.
- [11] Haim BREZIS. *Opérateurs maximaux monotones et semi-groupes de contractions dans les espaces de Hilbert*. North-Holland Mathematics Studies, No. 5. Notas de Matemática (50). Amsterdam : North-Holland Publishing Co., 1973, p. vi+183.
- [12] Haim BREZIS. « Problèmes unilatéraux ». In : *J. Math. Pures Appl. (9)* 51 (1972), p. 1-168. ISSN : 0021-7824.
- [13] Haim BREZIS, Michael G. CRANDALL et Ammon PAZY. « Perturbations of nonlinear maximal monotone sets in Banach space ». In : *Comm. Pure Appl. Math.* 23 (1970), p. 123-144. ISSN : 0010-3640.
- [14] Haim BREZIS et Yanyan LI. « Topology and Sobolev spaces ». In : *J. Funct. Anal.* 183.2 (2001), p. 321-369. ISSN : 0022-1236. DOI : [10.1006/jfan.2000.3736](https://doi.org/10.1006/jfan.2000.3736). URL : <http://dx.doi.org/10.1006/jfan.2000.3736>.
- [15] Haim BREZIS et Hoai-Minh NGUYEN. « On the distributional Jacobian of maps from  $S^N$  into  $S^N$  in fractional Sobolev and Hölder spaces ». In : *Ann. of Math. (2)* 173.2 (2011), p. 1141-1183. ISSN : 0003-486X. DOI : [10.4007/annals.2011.173.2.15](https://doi.org/10.4007/annals.2011.173.2.15). URL : <http://dx.doi.org/10.4007/annals.2011.173.2.15>.
- [16] Haim BREZIS et Hoai-Minh NGUYEN. « The Jacobian determinant revisited ». In : *Invent. Math.* 185.1 (2011), p. 17-54. ISSN : 0020-9910. DOI : [10.1007/s00222-010-0300-9](https://doi.org/10.1007/s00222-010-0300-9). URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s00222-010-0300-9>.
- [17] Haim BREZIS et Louis NIRENBERG. « Characterizations of the ranges of some nonlinear operators and applications to boundary value problems ». In : *Ann. Scuola Norm. Sup. Pisa Cl. Sci. (4)* 5.2 (1978), p. 225-326.
- [18] Haim BREZIS et Louis NIRENBERG. « Degree theory and BMO. I. Compact manifolds without boundaries ». In : *Selecta Math. (N.S.)* 1.2 (1995), p. 197-263. ISSN : 1022-1824. DOI : [10.1007/BF01671566](https://doi.org/10.1007/BF01671566). URL : <http://dx.doi.org/10.1007/BF01671566>.
- [19] Haim BREZIS et Louis NIRENBERG. « Degree theory and BMO. II. Compact manifolds with boundaries ». In : *Selecta Math. (N.S.)* 2.3 (1996). With an appendix by the authors and Petru Mironescu, p. 309-368. ISSN : 1022-1824. DOI : [10.1007/BF01587948](https://doi.org/10.1007/BF01587948). URL : <http://dx.doi.org/10.1007/BF01587948>.

- [20] Haim BREZIS et Louis NIRENBERG. « Positive solutions of nonlinear elliptic equations involving critical Sobolev exponents ». In : *Comm. Pure Appl. Math.* 36.4 (1983), p. 437-477. ISSN : 0010-3640. DOI : [10.1002/cpa.3160360405](https://doi.org/10.1002/cpa.3160360405). URL : <http://dx.doi.org/10.1002/cpa.3160360405>.
- [21] Haim BREZIS et Walter A. STRAUSS. « Semi-linear second-order elliptic equations in  $L^1$  ». In : *J. Math. Soc. Japan* 25 (1973), p. 565-590. ISSN : 0025-5645.
- [22] Haïm BRÉZIS et Elliott LIEB. « A relation between pointwise convergence of functions and convergence of functionals ». In : *Proc. Amer. Math. Soc.* 88.3 (1983), p. 486-490. ISSN : 0002-9939, 1088-6826. DOI : [10.2307/2044999](https://doi.org/10.2307/2044999). URL : <https://doi.org/10.2307/2044999>.
- [23] Ronald COIFMAN et Yves MEYER. « Une généralisation du théorème de Calderón sur l'intégrale de Cauchy ». In : *Fourier analysis (Proc. Sem., El Escorial, 1979)*. T. 1. Asoc. Mat. España. Madrid : Asoc. Mat. España, 1980, p. 87-116.
- [24] Ronald G. DOUGLAS. *Banach algebra techniques in operator theory*. Second. T. 179. Graduate Texts in Mathematics. New York : Springer-Verlag, 1998, p. xvi+194. ISBN : 0-387-98377-5.
- [25] Frank PACARD et Tristan RIVIÈRE. *Linear and nonlinear aspects of vortices*. Progress in Nonlinear Differential Equations and their Applications, 39. The Ginzburg-Landau model. Boston, MA : Birkhäuser Boston Inc., 2000, p. x+342. ISBN : 0-8176-4133-5.
- [26] Juri G. REŠETNJAK. « Mappings with bounded distortion as extremals of integrals of Dirichlet type ». In : *Sibirsk. Mat. Ž.* 9 (1968), p. 652-666. ISSN : 0037-4474.
- [27] Etienne SANDIER et Sylvia SERFATY. *Vortices in the magnetic Ginzburg-Landau model*. Progress in Nonlinear Differential Equations and their Applications, 70. Boston, MA : Birkhäuser Boston Inc., 2007, p. xii+322. ISBN : 978-0-8176-4316-4.
- [28] Richard SCHOEN et Karen UHLENBECK. « A regularity theory for harmonic maps ». In : *J. Differential Geom.* 17.2 (1982), p. 307-335. ISSN : 0022-040X. URL : <http://projecteuclid.org/getRecord?id=euclid.jdg/1214436923>.
- [29] Brian WHITE. « Homotopy classes in Sobolev spaces and the existence of energy minimizing maps ». In : *Acta Math.* 160.1-2 (1988), p. 1-17. ISSN : 0001-5962. DOI : [10.1007/BF02392271](https://doi.org/10.1007/BF02392271). URL : <http://dx.doi.org/10.1007/BF02392271>.

# Du côté du réseau MSO-DE et des entreprises

par :

*Christian GOUT<sup>1</sup> – CNRS FR3335 et INSA Rouen-LMI*

*Ariane ROLLAND<sup>2</sup> – CNRS, Institut Fourier et AMIES*



Le Forum Entreprises & Mathématiques (FEM 2024) a eu lieu le 7 octobre 2024, à la Cité des Sciences et de l'Industrie à Paris La Villette.

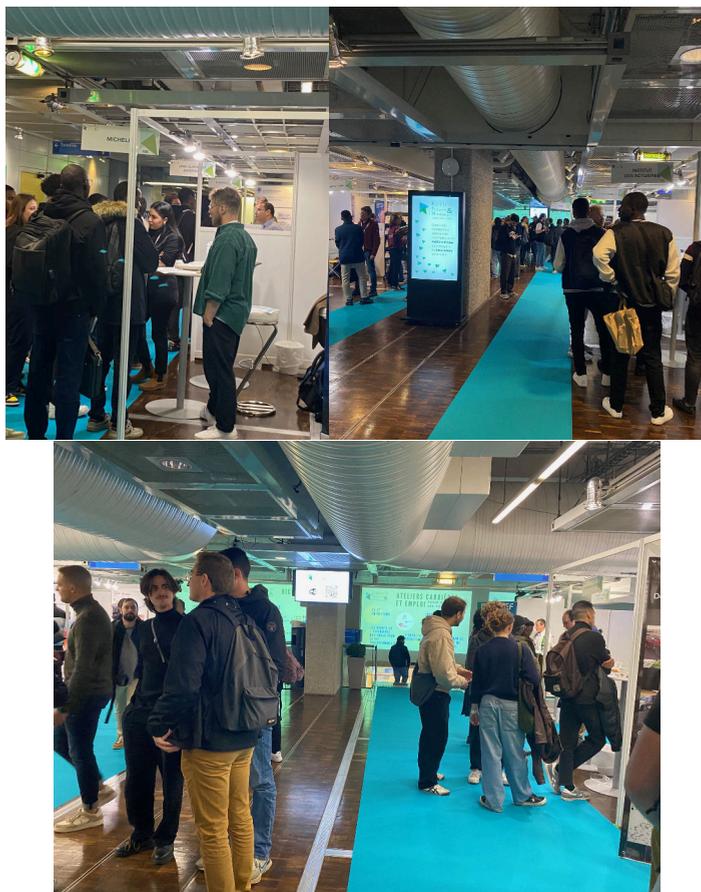
Merci à tous les participants, étudiants, doctorants, entreprises, associations, merci aux formations, aux sociétés savantes de mathématiques, aux instituts de recherche d'avoir répondu présents au 13<sup>e</sup> Forum Entreprises & Mathématiques du lundi 7 octobre 2024. Merci à toute l'équipe de La Villette de nous avoir accueillis, cette journée a été une réussite avec encore davantage de visiteurs qu'en 2023! Les vidéos des tables rondes et des témoignages métiers seront bientôt en ligne.

**Discours inaugural de J. Lelong (Directeur d'AMIES) en ouverture du FEM 2024 :**

*Au nom d'AMIES, de la SFdS et de la SMAI qui co-organisent cet évènement, j'ai le plaisir de vous souhaiter la bienvenue au 13e forum entreprises et mathématiques. Après une édition au CNAM, le FEM revient à la Cité des Sciences et de l'Industrie, un lieu chargé*

1. [christian.gout@agence-maths-entreprises.fr](mailto:christian.gout@agence-maths-entreprises.fr)

2. [ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr](mailto:ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr)



*d'histoire où recherche et innovation cohabitent. C'est dans ce lieu que l'histoire du FEM s'écrit depuis de longues années. Je voudrais cette année, mettre l'accent sur le doctorat, un diplôme jadis, parfois mal-aimé.*

*De nombreuses doctorantes et doctorants sont aujourd'hui présents avec des posters de leurs travaux visibles sur le stand Formations et Métiers des maths. Alors que vous soyez étudiante, étudiant ou entreprise, allez les voir, échangez avec eux. Docteurs et autres diplômés en mathématiques, rappelez que quel que soit votre sujet, vous avez beaucoup à apporter à de nombreux problèmes bien réels même s'ils semblent a priori éloignés de vos travaux.*

*Ne croyez pas que l'application des mathématiques soit l'apanage de ce que l'on appelle communément les mathématiques appliquées. Les mathématiques les plus abstraites ont un rôle tout aussi essentiel à jouer. Parce les mots sont importants, certains préfèrent parler de mathématiques amont et aval. Dans mon esprit de Grenoblois adepte de montagne, cette image renvoie à l'eau qui coule de la montagne du haut vers le bas mais pousser la comparaison plus loin serait maladroit. Chacun sait, en effet, que la difficulté d'une ascension*

ne peut être réduite à la hauteur de la montagne à gravir tant le rôle joué par le chemin emprunté est déterminant. Il en va de même pour les mathématiques : il faut parfois savoir contourner un problème trop ardu pour lui trouver une solution originale. En ce sens, les entreprises ont besoin de toutes les mathématiques, quelles qu'elles soient, et toutes les mathématiques ont leur application.

Je vous invite à venir assister à 13h30 à la remise du prix de thèse Mathématiques Entreprises & Société qui mettra à l'honneur trois femmes cette année. Vous y découvrirez leurs parcours avant et pendant la thèse. Les sujets variés sur lesquels elles ont travaillé ont permis de faire progresser des problèmes bien concrets pour les entreprises.

Je voudrais conclure en adressant un message fort à toutes les étudiantes et étudiants ici présents. La thèse est une formidable aventure, certes parfois difficile, mais tellement inspirante et gratifiante. Ne laissez pas passer votre chance de devenir actrice ou acteur de la recherche en mathématiques. Les entreprises et la Société ont besoin de vous.

Bonne journée à toutes et tous.



**FIGURE 1** — Remise du Prix de Thèse Maths Entreprises et Société 2024 lors du FEM 2024.

## COMPTE RENDU DU FEM 2024

Le Forum Entreprises & Mathématiques (FEM 2024) a eu lieu le 7 octobre 2024, à la Cité des Sciences, Paris La Villette.

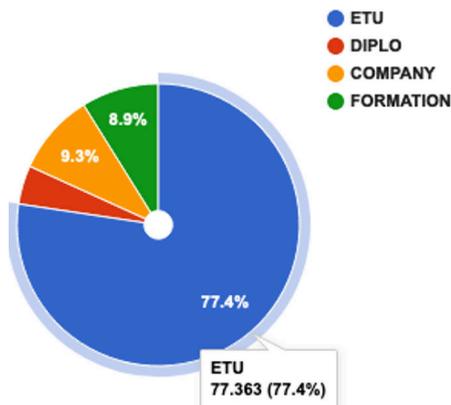
Le site internet du FEM 2024 :

<https://2024.forum-entreprises-maths.fr/public/pages/index.html>

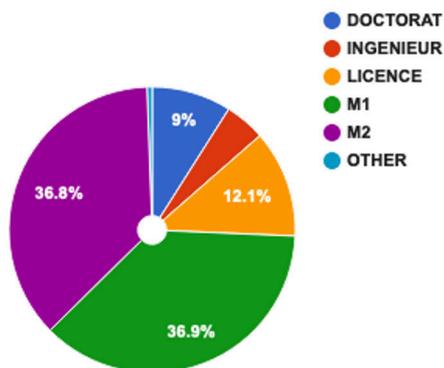
Les vidéos des tables rondes seront bientôt en ligne à l'adresse suivante :

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

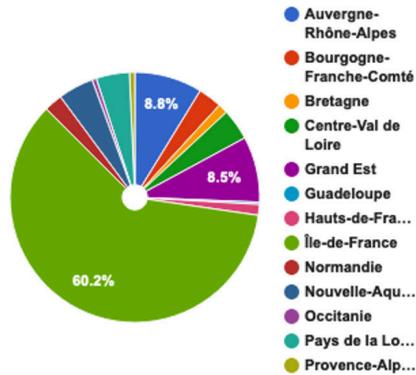
Nous donnons ci-dessous quelques statistiques concernant les participants au FEM 2024.



**FIGURE 2** — Répartition des présents au FEM 13. Les chiffres sont stables avec une majorité d'étudiants, et une participation équilibrée entre académiques/entreprises/associations. Il y a eu 33 stands réservés, 18 entreprises inscrites, 4 associations, 2 fondations et 8 formations.



**FIGURE 3** — Répartition des 701 étudiants présents au FEM 13. A noter une forte majorité (73,7%) d'élèves de Master.



**FIGURE 4** — Provenance géographique des participants. L'Île-de-France demeure logiquement le plus fort contingent.

Au-delà des résultats présentés ici, il nous semble important de réfléchir à des propositions pour l'édition FEM 14 en 2025 afin que le ratio présents/inscrits soit amélioré, en axant également l'effort sur la venue des correspondants locaux du réseau AMIES, et en essayant, entre autres, d'encore développer la participation des doctorants et docteurs au Forum.



### Christian GOUT



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

**Email :**

[christian.gout@agence-maths-entreprises.fr](mailto:christian.gout@agence-maths-entreprises.fr)

### Ariane ROLLAND



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

**Email :**

[ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr](mailto:ariane.rolland@agence-maths-entreprises.fr)

# Les réformateurs l'ESR – Interview de J. Laillier et C. Topalov

par :

Joël LAILLIER<sup>1</sup> – Université d'Orléans  
Christian TOPALOV<sup>2</sup> – CNRS, École des hautes études  
en sciences sociales



Nous sommes allés interroger Joël Laillier, maître de conférences à l'université d'Orléans et Christian Topalov directeur de recherche CNRS et directeur d'études à l'EHESS, tous deux chercheurs au Centre Maurice Halbwachs, à propos de leur dernière publication « Gouverner la science : Anatomie d'une réforme (2004-2020) », une étude sociologique sur la réforme de la recherche des vingt dernières années. Nous voulions en savoir plus sur leur travail, ses liens avec les mathématiques et notre communauté...

Voici le résumé de l'éditeur :

*On ne peut réduire une réforme à la doctrine (économique, néolibérale ou autre) des gouvernements qui l'importent dans un domaine ou un autre. Aussi ne comprend-on vraiment le fonctionnement d'une réforme qu'au travers du portrait des acteurs placés aux divers postes de décision, de la manière dont ils procèdent et des intérêts qu'ils y trouvent.*

*« Quel a été l'enjeu des réformes imposées à l'université et à la recherche depuis le début des années 2000 ? Instituer un pilotage politique de la science pour qu'elle se trouve orientée au bénéfice de l'« innovation » et de l'économie. Mettre en place une concurrence généralisée entre établissements, laboratoires et individus, de sorte que la distribution des ressources privilégie une supposée « excellence » et la conformité à des objectifs définis politiquement. En bref, c'est l'autonomie de la science et des savants que la réforme a attaquée de front. Passer d'un monde dans lequel les scientifiques constituaient une profession auto-organisée protégée des autres pouvoirs, à un autre où les pratiques scientifiques sont gouvernées par de nouveaux impératifs portés par des institutions hiérarchiques et centralisées : voilà ce que les réformes ont tendu à produire en France durant la quinzaine d'années qui nous intéresse. »*

1. [joel.laillier@ens.fr](mailto:joel.laillier@ens.fr)

2. [christian.topalov@ehess.fr](mailto:christian.topalov@ehess.fr)

*L'enquête des auteurs retrace les transformations qui ont radicalement changé l'organisation de la recherche et de l'université, les pratiques scientifiques et les façons de gouverner le monde savant. Il montre comment une telle réforme a pu se mettre en place : qui ont été les promoteurs de sa doctrine, qui sont ses états-majors, ses lieutenants et ses petits soldats ?*

*Ce livre propose une « anatomie » de la réforme qui dissèque ses organes et leurs fonctions, pour comprendre comment s'est imposée, en dépit des oppositions et résistances, une nouvelle définition de la science, de l'université et de leurs finalités.*

► **Matapli :** Pourriez-vous décrire, en quelques mots, votre livre ?

► **Joël Laillier :** Nous avons cherché à comprendre les ressorts du mouvement réformateur de la science que l'on subit depuis de nombreuses années, et que l'on voit se diffuser malgré les résistances de la communauté scientifique. Pour ce faire, nous avons privilégié une approche un peu particulière. Plutôt que de s'intéresser aux textes législatifs, ou aux dispositifs forts nombreux qui ont été créés, nous avons centré l'analyse sur les personnes qui ont occupé des positions de pouvoir tout au long du processus, qui ont accompagné ou soutenu activement ces transformations, et dont les réformes ont, souvent, renforcé le pouvoir. D'une certaine manière, la réforme de l'ESR a nécessité l'engagement actif d'une quantité très importante de personnes, de l'état-major aux bons petits soldats, en passant par les lieutenants. C'est à cet univers des réformateurs que le livre est consacré.

► **Matapli :** Quelles sont les méthodes numériques que vous avez utilisées pour construire vos modèles ?

► **Joël Laillier :** Nous avons travaillé d'abord sur des listes nominatives qui décrivent la composition de nombreuses instances de direction, d'administration et de conseil, tout en rassemblant une série d'informations qualitatives sur ces individus (nous en avons sélectionné un peu moins de 15 000) en les rattachant à leurs institutions. Intervint alors le premier outil numérique : l'analyse de réseau, que nous avons appliquée à ces données. En pratique, cela consiste à considérer une institution comme un nœud et un rattachement à une institution comme un lien et à détecter les points les plus centraux du graphe obtenu. Le résultat est une cartographie du réseau institutionnel. Cela nous a été très utile pour comprendre les liens entre types d'institutions, tels que mis en évidence par les appartenances multiples ou les déplacements des personnels au sein des réseaux d'administration de la recherche (nous avons travaillé sur quatre coupes chronologiques successives 2005, 2009, 2013, 2019). Il nous était ainsi possible de comprendre comment s'organise le pouvoir, par exemple en connectant des institutions qui partagent le même personnel, mais aussi de saisir les déplacements dans le temps des individus d'une institution à l'autre, de voir comment certaines institutions (par exemple la direction de la recherche et de la technologie du ministère) en « colonisent » d'autres (par exemple le CNRS, ou l'AERES, ou la direction des PRES de la région parisienne), de voir aussi comment certains se maintiennent durablement dans le champ du pouvoir scientifique. Nous avons ensuite essayé de mieux comprendre les propriétés des individus placés dans les différents lieux de pouvoir. Pour cela, nous avons collecté systématiquement des informations individuelles. Une des premières questions que l'on se posait était, par exemple, de comprendre comment les nouvelles institutions, comme

l'AERES ou l'ANR, recrutait leur personnel, et en particulier ceux qui se trouvaient en charge d'organiser les évaluations. La question était d'autant plus importante que les nouvelles agences fonctionnent par nomination et remplacent des institutions dont les membres étaient majoritairement élus par les pairs. Est-ce que les nommés ont été choisis parmi des personnes qui ont les mêmes propriétés que les évaluateurs qu'ils ont remplacés ? Nous avons d'abord essayé de travailler par analyse de comparaison de séquences, outil que nous avons emprunté aux bio-informaticiens. Il s'agit de repérer des combinaisons de propriétés dans les trajectoires des individus. Nous avons ainsi observé que la chronologie n'était pas très importante pour distinguer les trajectoires. Nous avons eu du mal à coder la multi-appartenance et nous nous sommes repliés sur une méthode très classique en sociologie, l'analyse des correspondances multiples (ACM<sup>3</sup>), qui revient *in fine* à diagonaliser la matrice de covariance associée aux propriétés des individus. Cela nous a permis de faire des paquets cohérents en utilisant deux méthodes de classification : l'analyse ascendante hiérarchique, donnant un premier découpage, et l'algorithme de quantification *k*-means qui vient consolider le nombre de paquets en les homogénéisant. Le partitionnement en *k*-moyennes (ou *k*-means en anglais) est une méthode de partitionnement de données reposant sur la résolution d'un problème d'optimisation combinatoire. Étant donnés des points et un entier, le problème consiste à partitionner les points en groupes, souvent appelés *clusters*, de façon à minimiser une certaine fonction. On considère la distance d'un point à la moyenne des points de son cluster ; la fonction à minimiser est la somme des carrés de ces distances. Il existe une heuristique classique pour ce problème, souvent appelée méthodes des *k*-moyennes, utilisée pour la plupart des applications. Le problème est aussi étudié comme un problème d'optimisation classique, avec par exemple des algorithmes d'approximation.



Le partitionnement en *k*-moyennes (ou *k*-means en anglais) est une méthode de partitionnement de données et un problème d'optimisation combinatoire. Étant donnés des points et un entier *k*, le problème est de diviser les points en *k* groupes, souvent appelés *clusters*, de façon à minimiser une certaine fonction. On considère la distance d'un point à la moyenne des points de son cluster ; la fonction à minimiser est la somme des carrés de ces distances. Il existe une heuristique classique pour ce problème, souvent appelée méthodes des *k*-moyennes, utilisée pour la plupart des applications. Le problème est aussi étudié comme un problème d'optimisation classique, avec par exemple des algorithmes d'approximation (Wikipédia).

Tout ceci a débouché sur la typologie présentée dans notre livre : on a ainsi identifié six types de dirigeants par exemple : le scientifique distingué, le petit patron scientifique, le cadre ordinaire de la science, le notable de l'administration de l'université, le notable de l'administration des organismes, l'ingénieur R&D ... On observe que selon les lieux de pouvoir, on retrouve certains types de propriétés individuelles, mais aussi que certains types tendent à disparaître ou se trouvent marginalisés, tandis que d'autres sont placés

3. L'ACM correspond à l'analyse en composantes principales, NDLR.

au centre du système.

► **Christian Topalov** : Peut-être une ou deux remarques complémentaires. L'intérêt de la méthode, c'est d'observer comment les gens se regroupent en fonction des caractéristiques qu'ils ont et pas en fonction de la réputation qu'ils peuvent avoir. C'est très important dans des disciplines où la connaissance que l'on croit avoir des individus peut rendre aveugle aux dynamiques d'agrégation. De manière plus fine, la méthode elle-même nous permet de voir dans une catégorie quels sont les cas les plus caractéristiques, qu'ils soient les plus proches des autres éléments de la catégorie ou qu'ils soient les plus distants des éléments extérieurs à la catégorie. Cela permet des changements d'échelle d'observation et de commentaire qui sont au cœur d'une nouvelle façon de faire des statistiques en sociologie. De manière plus générale, l'analyse des correspondances multiples a été introduite dans l'univers bourdieusien de la sociologie, son intérêt étant justement de travailler par typologie, c'est-à-dire par configuration de variables qui interagissent entre elles, par opposition à la sociologie quantitative traditionnelle, Lazarsfeld en étant un des avatars aux États-Unis, qui s'attache plutôt à déterminer des lois déterministes, de type « quand ceci, alors cela », ce qui évidemment dans le monde historique n'a strictement aucune signification.

L'autre point que je voulais souligner, c'est l'étonnante robustesse de nos modèles. Lorsqu'on les représente dans un tableau sur une période de 25 ans, on voit les individus se succéder à la tête des états-majors d'une façon telle que nos types sont incroyablement prédictifs. On observe, par exemple, la disparition des scientifiques distingués<sup>4</sup> dans certains types de fonctions et la montée spectaculaire récente des ingénieurs recherche et développement dans des endroits où, je pense, personne n'aurait imaginé les trouver, mais qui sont prévisibles par notre approche.

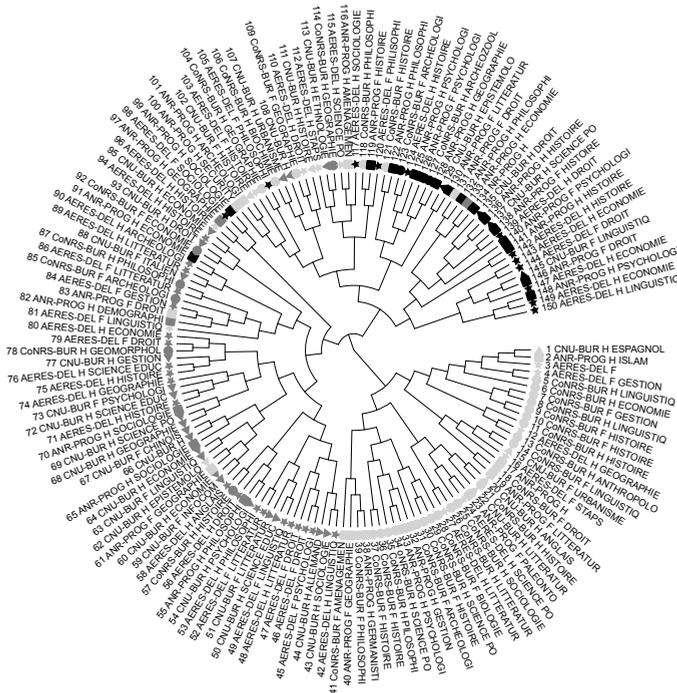
► **J.L.** : Cela nous a aussi permis d'éclairer des conflits qu'il y a pu y avoir dans certains lieux. Un très bel exemple, c'est le conflit à la tête du CNRS au début des années 2000. D'un côté, Bernard Meunier, scientifique distingué, est le président du CNRS, de l'autre Bernard Larrouturou qui vient de quitter la présidence de l'INRIA en est le directeur général (à l'époque le CNRS avait un président et une direction générale). Le premier voulait protéger les départements, c'est-à-dire la structure scientifico-bureaucratique de l'organisme, tandis que l'autre voulait les balayer. Simplement, le fait que Larrouturou soit, dans notre typologie, classé comme un ingénieur R&D à une époque où il n'y en avait pas d'autres aux postes clés, montre qu'il arrivait trop tôt. Et il y a eu un conflit, qui va d'ailleurs faire exploser la direction du CNRS, puisque Meunier démissionnera, ce qui entraînera le départ de Larrouturou.

On peut compléter cette explication, en formulant l'hypothèse que derrière ces profils, il y a des socialisations qui sont différentes, socialisations qui entraînent des conceptions de la recherche et des représentations de l'activité scientifique elles-mêmes différentes. Ces profils professionnels rendent donc compte des luttes et conflits entre différentes façons de définir la pratique scientifique légitime.

► **C.T.** : On a quand même regretté de ne pas pouvoir prendre en compte le déroulé temporel des carrières. Une des thèses développées dans le livre est l'apparition d'un nouveau profil de dirigeant scientifique, le notable bureaucratisé de la gestion des or-

4. NDLR : un des profils définis par les auteurs.

ganismes ou de l'université. Une de ses caractéristiques est d'entrer dans des fonctions administratives après une première phase d'activité scientifique assez brève, de plus en plus tôt dans sa carrière et de manière irréversible. Pour asseoir plus solidement cette thèse, il faut prendre en compte des séquences d'événements et des âges. Un approfondissement de la typologie sera donc nécessaire en situant précisément dans le temps les entrées et sorties des fonctions administratives au fil des carrières. Par exemple, pour les catégories des petits patrons de la recherche et des cadres ordinaires de la science, on observe encore des retours vers les laboratoires. On observe aussi, dans certains cas, des changements de catégorie au fil du temps.



*Classification des organisateurs de l'évaluation en SHS en 2012 (responsables de programme ANR, délégués scientifiques AERES, bureau du CNU et bureau du CoNRS)*

► **Matapli :** Est-ce que vous avez détecté une surreprésentation de mathématiciens impliqués, ou, de manière plus générale, est-ce qu'il y a des spécificités des mathématiques dans le tableau que vous dressez ?

► **J.L. :** Il est difficile de répondre à cette question. Par exemple, du point de vue des individus, on trouve parmi les acteurs de la réforme Thierry Coulhon, qui se présente comme un mathématicien et qui a été un acteur central du processus. Le fait qu'il soit mathématicien a-t-il joué un rôle ? Je ne suis pas sûr de pouvoir le dire. Sur un autre

plan, on note que deux lieux très importants de recrutement de dirigeants réformateurs sont, d'un côté, le CEA et son département des sciences du vivant et, de l'autre, l'INRIA. Ces deux institutions sont très liées aux mathématiques. Par exemple, que ce soit pour B. Larrouturou, A. Petit ou M. Cosnard, on voit que la réforme a pioché sur une certaine période ses ressources à l'INRIA. Il y a d'ailleurs eu un moment étonnant, qui n'a certes pas duré très longtemps, où ces trois anciens dirigeants de l'INRIA se sont retrouvés respectivement chargé de la politique de la recherche au ministère (DGRI), PDG du CNRS et président du HCERES. Plus que des mathématiciens, ce qu'on a vu se dégager de l'étude de ce nouveau type de dirigeant, c'est qu'il correspond souvent à des diplômés d'école d'ingénieurs, pas nécessairement des mathématiciens. Plus précisément, ce sont des ingénieurs qui se sont spécialisés à un moment de leur carrière dans la politique d'innovation au sein des organismes et parfois, en même temps, dans l'industrie, notamment dans les anciennes industries d'Etat (souvent l'industrie de l'armement). Ils constituent donc un lien très fort entre la politique industrielle et la politique scientifique, lien que l'on va retrouver un peu partout dans ce système de pouvoir. Est-ce que leur socialisation est liée aux écoles d'ingénieurs qu'ils ont fréquentées? Ou plutôt à leur ancrage dans les mathématiques appliquées? Là aussi, difficile de répondre.

► **Matapli :** Si nous revenons un peu en arrière, pouvez-vous nous retracer le contexte dans lequel a été conduit votre travail ?

► **C.T. :** Suite au mouvement de 2009 contre les réformes, un séminaire nommé « Politique des sciences » s'est mis en place à l'École des hautes études en sciences sociales. Il se donnait pour objectif l'étude des réformes en cours et se voulait un lieu d'analyse collective de leurs effets, de leurs développements (ce séminaire existe d'ailleurs toujours aujourd'hui<sup>5</sup>). Il répondait à un besoin de réfléchir ensemble à ce qui nous arrivait. C'est dans le contexte de ce séminaire qu'est née l'idée d'un dispositif d'observation des réformateurs et qu'a commencé la mise en place d'une base de données. Les contributeurs étaient des sociologues, des biologistes de Paris 6, il y avait aussi quelques physiciens. On a avancé ensemble et, à un moment donné, les sociologues, dont c'était le métier après tout, ont investi plus de temps dans ce travail. Au passage, hommage doit être rendu à l'inspiration et au travail fourni par nos collègues dans la mise en place initiale de la base de données.

► **Matapli :** Comment se situe ce travail dans la communauté de la sociologie des sciences ?

► **C.T. :** Dans le dernier chapitre du livre, nous faisons un petit retour réflexif sur notre propre processus de recherche et nous nous situons par rapport aux débats sur ces sujets au sein de la discipline. Bien que nous-même critiques, nous n'avons pas adopté l'approche de la plupart des sociologues critiques qui à l'époque, développaient une lecture en termes de mise en œuvre d'une idéologie néolibérale, retraçant une chaîne de directives allant de l'OCDE, de la commission européenne, du Conseil européen de Lisbonne à l'économie de la connaissance et son application française. Cette approche a prévalu jusqu'au tournant des années 2010, les approches critiques se diversifiant en-

5. Plus d'informations ici : <https://enseignements.ehess.fr/2023-2024/ue/263>

suite grâce à des travaux sur les instruments des réformes ou sur leurs effets en matière d'inégalités entre établissements. Dès le début de notre travail, nous avons pris nos distances par rapport à une approche partant de l'idéologie : cette idéologie, sans aucun doute, peut s'observer, mais ce qui nous intéressait, c'est qu'il n'y a pas de réforme sans réformateurs. C'est ce groupe d'agents que nous souhaitons étudier.

Il y avait, à l'opposé, un autre courant de sociologues, beaucoup plus nombreux, beaucoup plus organisés et mieux financés, basé à Sciences Po Paris. Dès l'époque du gouvernement Jospin, ils avaient commencé à avoir des contrats pour suivre les réformes universitaires, en particulier ce qui s'appelait à l'époque la contractualisation des universités. Ils répondaient à des questions du type : les universités vont-elles développer des « projets d'établissement » ? Vont-elles adopter les réformes ? Quels sont les blocages au financement par projet dans la recherche ? Comment éviter les conflits d'intérêts ? etc. Dans une tradition sociologique qui avait souvent travaillé pour conseiller les entreprises, notamment des entreprises publiques, comme EDF ou Renault, ces chercheurs relevaient de la sociologie des organisations. C'est une sociologie d'accompagnement des réformes qui décrit les situations comme le résultat non pas d'une imposition par le haut, mais d'une négociation, d'un compromis permanent. C'est une sociologie qui esquisse l'étude du pouvoir, concept que l'on peut définir simplement comme la capacité de faire faire à autrui quelque chose qu'il n'aurait pas fait si on ne le lui avait pas imposé de le faire.

De notre point de vue, justement, la réforme conduit au renforcement des positions de pouvoir sur les savants. Plutôt qu'une négociation ou un compromis, on observe en réalité l'imposition d'une certaine conception de la science, et la mise en place d'un pilotage de la science par le haut qui vient gouverner la pratique scientifique. Les savants perdent en autonomie et sont de plus en plus soumis à des injonctions extérieures à la science.

► **Matapli :** **Votre travail est centré sur les gouvernants, alors même qu'il semble aussi que les réformes conduisent à une gouvernance dépersonnalisée et uniformisatrice. Comment comprendre cela ?**

► **C.T. :** Pour répondre à cette question, il faut noter que depuis le début de notre recherche, deux autres directions de recherches extrêmement fécondes se sont développées du côté de la sociologie critique. D'une part, un travail sur les instruments, par exemple sur le *benchmarking* comme outil d'imposition d'une concurrence entre pays ou établissements sans que l'on puisse discuter les buts fixés à la course. Ceci rejoint l'idée forte qu'un gouvernement par les instruments n'a plus besoin de gouvernants. Pour une grande part, les dispositifs d'évaluation ou la forme « projet de recherche » elle-même fonctionnent quasiment sans que personne n'ait à décider, puisque tout est inscrit dans la forme, dans les procédures.

Se développe d'autre part, une sociologie très macroscopique qui étudie les effets de différenciation au sein du système d'enseignement supérieur, tels qu'ils sont accélérés ou modifiés par les réformes. Cela donne, par exemple, des recherches quantitatives extrêmement précieuses sur la diversification des universités par la composition sociale de leur public étudiant, ou bien sur les effets de Parcoursup sur la sélection des étudiants et la différenciation des universités.



Notre travail ne s'inscrit pas dans ces orientations mais celles-ci sont, à notre avis, tout à fait essentielles. Il n'y a pas d'opposition entre ces approches et la nôtre, d'avantage centrée sur les acteurs. On peut dire, pour reprendre une formule de Jacques Lagroye, que les institutions n'existent qu'au travers des individus qui les habitent, ce qui justifie notre approche, sans pour autant invisibiliser le pouvoir de la règle et des instruments de gouvernement.

► **Matapli :** Dans votre livre, on voit bien que d'une part les réformateurs ont une certaine rationalité qui les conduit à des démarches appliquées pas à pas, séquentiellement. Mais ils ne semblent pas avoir une vision globale et téléologique très claire... les réformateurs savent-ils où ils emmènent le système ?

► **J.L. :** C'est une question compliquée et que nous sommes posée tout au long de ce travail. Nous l'avons abordée par l'étude des rapports d'experts et de commissions spécialisées entre 2000 et 2020, généralement écrits sur commande des pouvoirs publics ou du ministère, pour expliquer les maux dont souffre l'ESR et proposer des solutions. Notre question, à cette étape du travail, était celle de la cohérence des réformes.

L'impression qui s'est dégagée, c'est que, petit à petit, va se figer un lexique, une façon de poser le problème, qui ferme la façon de concevoir l'ESR. On peut tracer ce cheminement sur l'exemple de mots d'ordre comme « autonomie » ou « excellence ». Ce sont des termes qui sont fortement polysémiques et c'est ce flou-là qui leur permet aussi de rassembler. On pourrait au passage sans doute faire l'hypothèse qu'un bon mot d'ordre réformateur est un mot suffisamment vague pour qu'un grand nombre de personnes puisse y mettre des choses différentes et, du coup, donner un sens que l'on peut croire commun à des objectifs très divers. Qui peut dire qu'il est contre l'autonomie en soi ou l'excellence ?

Le sens donné à ces mots-là s'est peu à peu précisé et solidifié dans les actes accompagnés d'un discours de justification. Notons que ce flou se trouvait déjà dans le mouvement SLR<sup>6</sup>, où l'on trouvait à la fois des personnes revendiquant un traitement égalitaire des institutions de l'ESR et d'autres, beaucoup plus élitistes, réclamant l'autonomie, l'évaluation concurrentielle et la différenciation par le financement par projet.

► **C.T. :** Sur le terme « excellence », la construction des évidences réformatrices a été processuelle, c'est-à-dire que la signification qu'a pris finalement le mot n'était pas acquise au début. Le rapport Attali de 1998, par exemple, affirmait qu'il faut promouvoir l'excellence au sein de l'ESR, mais avec la réserve importante que l'excellence peut concerner un segment de tel établissement et pas l'établissement dans son ensemble, et qu'elle n'est jamais acquise définitivement : tout l'inverse de ce qu'a mis en place la politique de « différenciation » ultérieure. « Excellence » est donc une notion à géométrie extrêmement variable. Un autre exemple est donné par la CPU<sup>7</sup> dont on observe qu'elle a eu sa propre définition en disant, à la veille du premier Programme Investissement d'Avenir (PIA) qui allait donner lieu à la création des IDEX avec la fusion des universités d'un même territoire, qu'il serait funeste de réduire l'ESR à une dizaine de

6. NDLR : *Sauvons la recherche*, association issue d'un mouvement né d'une mobilisation contre la loi d'orientation et de programmation pour la recherche et l'innovation en décembre 2003.

7. *Conférence des présidents d'université*.

pôles d'enseignement supérieur de taille internationale.

La bascule s'est produite avec le rapport Aghion remis à Péresse en 2010, au moment de lancer les concours IDEX. Là, c'était tout autre chose, une fracture du système entre les universités « excellentes » et les autres. Une fois que cette nouvelle définition a été énoncée et, surtout, mise en oeuvre, elle s'est stabilisée par un effet cliquet : on ne revient jamais en arrière. Rétrospectivement, on s'aperçoit que tout s'est accumulé dans une seule direction, mais que cette direction n'était pas nécessairement soutenue, ni même envisagée par tout le monde dès le début. Probablement que M. Aghion savait exactement dès l'origine ce qui était bon pour nous, mais la victoire de sa représentation de l'excellence n'était pas acquise d'avance. Un élément du succès des réformes a sans doute été une stratégie des réformateurs, décrite dans un rapport Aghion-Cohen publié en 2004 : il ne fallait pas faire de grandes proclamations qui allumaient des incendies à la manière d'Allègre, mais procéder par petits pas. Cette réforme « incrémentale » permettrait, disaient-ils, de vrais changements sans susciter d'oppositions trop fortes. De là à dire qu'Aghion était le pilote d'un complot centralisé, non, bien sûr. Il n'était évidemment pas seul et il a fallu que les conceptions de gens comme lui s'imposent dans des rapports de force internes et externes aux cercles du pouvoir politique.

► **J.L.** : Pour donner juste un exemple de ce que vient de dire Christian : sur la LPR, ce qui pourrait apparaître comme une mesure mineure mais qui, en fait, a des conséquences potentielles futures extrêmement importantes, c'est la disparition de la qualification par le CNU pour le passage de maître de conférences à professeur des universités. Faire disparaître le CNU pour le passage de maître de conférences à professeur des universités. Faire disparaître le CNU est un projet déjà ancien, en particulier chez les présidents d'université qui pourraient obtenir ainsi une plus grande marge de manœuvre pour leur politique de ressources humaines. Mais supprimer le CNU, comme certains extrémistes le proposent, semble être une trop grosse affaire. De fait, la disparition de la qualification, mais pas du CNU, semble être un tout petit pas, expérimental, bien sûr. Mais en réalité, ce qui se joue là, c'est la marginalisation d'une institution élue par les communautés concernées, comme on a connu la marginalisation du CoNRS quand l'évaluation des labos a été transférée à l'AERES.

► **Matapli** : **Vous parlez peu du rapport des réformateurs avec tout le personnel de support à la recherche, y a-t-il des choses particulières à dire sur le sujet ?**

► **J.L.** : Nous n'avons pas travaillé sur les personnels administratifs à proprement parler, considérant que ces personnels ne tenaient pas, en général, de positions de pouvoir. Un contre-exemple, pourtant, est celui de Claire Giry, qui est entrée au CEA après sa thèse pour s'occuper de communication. Elle a fait plutôt une carrière administrative, débutant par une position de directrice adjointe, avant de prendre diverses postes de direction et elle est aujourd'hui directrice générale de la recherche et de l'innovation au ministère. C'est un cas intéressant qui montre qu'il est désormais possible de mener des carrières purement administratives tout en accédant aux plus hautes positions de pouvoir sur la politique scientifique.

► **Matapli** : **Justement, parmi les réformateurs, se dégage-t-il des positions, des visions communes ou contradictoires sur la gestion de quasiment la moitié du personnel de l'ESR ? Il y a dans la réforme une vision de ce qu'est un chercheur**

**ou une chercheuse ou un enseignant ou une enseignante mais est-ce qu'il y a une vision qui se dégage sur le rôle des personnels d'encadrement, d'administration ou de support ?**

► **C.T. :** Un mot d'ordre qui apparaît assez tôt, c'est la mutualisation des ressources humaines, aussi bien du côté des ingénieurs que des administratifs. Ce terme est lié au processus de rapprochement puis de fusion des universités engagé par les réformes. Un autre aspect qui n'est jamais énoncé comme tel par les réformateurs, mais qu'on connaît tous pour l'avoir touché du doigt ou pour en être victime, c'est la précarisation. À partir du moment où les financements par projet prennent une importance considérable, sans que dans les labos ou dans les établissements il y ait de recrutement de personnel en poste, on voit évidemment exploser le nombre des administratifs précaires pour assurer la gestion de sommes importantes et des ingénieurs précaires pour mettre en œuvre les projets. C'est assez clair que c'est un des effets massifs des réformes. Mais nous n'avons pas travaillé sur ce point.

Un autre aspect encore, qu'on a pressenti, mais sur lequel nous n'avons pas pu travailler non plus, c'est que les machines de l'excellence ont aussi produit des couches bureaucratiques nouvelles. On présume que dans un IDEX ordinaire cela représente un volume très important de personnel, notamment dans les « cabinets » pléthoriques des grands dirigeants. Il est très difficile d'avoir accès à des informations complètes sur ce boursoufflement de la bureaucratie au détriment de l'enseignement et de la recherche, mais aussi de la gestion démocratique de nos institutions. Il existe d'ailleurs maintenant des masters de management de la recherche pour fournir les couches les plus modestes de ce genre de personnel, ce qui était encore inconcevable il y a quelques années.

► **Matapli :** **Parmi les chercheurs, comment ont été réorganisées les positions de pouvoir au cours de la réforme ? Que pourrait donner une étude analogue sur les gagnants des nouveaux systèmes et les perdants ? Les profils ont-ils changé ?**

► **C.T. :** Ce sont des travaux dirigés par Christine Musselin<sup>8</sup> qui montrent que, parmi les candidats au dispositif « laboratoires d'excellence », certains étaient d'emblée privilégiés dans les procédures par le fait qu'ils avaient déjà une expérience de la recherche sur projet, et donc savaient mettre en forme leur candidature selon les règles attendues. L'idée est toute simple, mais l'enquête empirique en montre le bien fondé. Un autre résultat de cette même enquête concerne la phase très courte où les concours pour les laboratoires d'excellences ont été lancés, en juillet 2010, avec un délai de trois semaines pour y répondre, sans que les chercheurs ne sachent réellement ce qu'on attendait d'eux.

L'étude montre que ce double contexte de concurrence intense et d'incertitude normative a produit une situation où les candidats, pour maximiser leurs chances de succès, essayaient de se rapprocher des centres de décision pour y trouver des indications à suivre. On constate ainsi empiriquement à quel point ces situations produisent du conformisme. Concurrence et incertitude sont d'une efficacité formidable pour que tout le monde s'aligne sur les attentes supposées de l'administration. Voilà comment on rend les chercheurs « innovants » !

D'autres travaux de la même équipe mettent en évidence que « on n'a pas besoin d'y

8. NDLR : sociologue des organisations.

croire pour y aller ». L'étude des processus de fusion d'universités montre que l'engagement d'une des universités de la ville pour un rapprochement, voire d'une fusion qu'elle dirigerait, déclenche des processus compétitifs qui obligent toutes les autres à s'impliquer également, qu'elles le veuillent ou non. Ça n'a pas toujours marché, d'ailleurs : voyez Toulouse ou Lyon-Saint Etienne, par exemple.

► **Matapli :** Sur un autre plan, quelle est la position des femmes dans les positions de pouvoir ?

► **C.T. :** Ce qui est assez spectaculaire, c'est que les six types produits par l'ACM comportent tous une proportion comprise entre 24 et 26% de femmes. Une remarque plus anecdotique, c'est que les ministres de l'enseignement supérieur les plus importantes ont été des femmes. J'aurais tendance à penser que cela montre que, pour les politiques de métier, c'est un ministère de passage, sans grande importance. Pour Péresse, c'est clair : elle s'est ensuite retrouvée au Budget et a poursuivi une carrière politique classique. Fioraso, qui aurait pu devenir une politique professionnelle, a eu moins de succès... Le fait nouveau, avec Vidal et Retailleau, c'est que la ministre est désormais recrutée dans le vivier des présidentes d>IDEX.

► **Matapli :** L'exemple de la CPU semble montrer qu'on peut saisir les dynamiques générales à partir de trajectoires individuelles.

► **C.T. :** Nous avons étudié la CPU et son destin en observant les trajectoires de ses dirigeants. L'intérêt de ce travail est, bien sûr, de comprendre la logique de ces carrières mais aussi des logiques plus collectives.

Par exemple, on observe que la CPU de l'époque Péresse était plutôt, pour le dire vite, de centre gauche. Au début de cette période, avant que l'évidence des dispositifs d'excellence ne s'impose à tout le monde, elle était d'ailleurs opposée à l'idée de différenciation des établissements. Pourtant, ces mêmes dirigeants se sont précipités dans les concours IDEX, avec des succès mitigés, d'ailleurs. Puis ils sont entrés en masse dans la machine gouvernementale à l'époque Hollande. La CPU a joué alors un rôle tout à fait important : les représentants des présidents se sont pris pour les représentants de l'université toute entière et ont soutenu activement les réformes à un moment où, comme le montrent les rapports, une des grandes craintes de Fioraso et de son entourage était que l'on « revienne en arrière ». Le rôle de la CPU a été important à ce moment-là.

Après cette phase, il s'est passé une chose très intéressante : l'explosion de la CPU. Du côté des présidents d'université, on a observé deux phénomènes. Le premier, très marqué statistiquement, c'est qu'à un certain moment, est apparue la possibilité de faire une carrière entière à la présidence d'une université ou d'un regroupement. Cela tenait, sans doute, à des appétences de la part des intéressés mais, surtout, c'était rendu possible par des changements institutionnels. À partir du moment où sont apparus les regroupements d'universités, la même personne pouvait se retrouver successivement à la tête d'un PRES, en même temps président de son université, puis à la tête d'une CO-MUE, par exemple, puis président d'une nouvelle université fusionnée. Les limites fixées par la loi Péresse (5 ans plus 5 ans) n'existaient plus, car il s'agissait d'établissements à chaque fois considérés comme juridiquement différents. On a vu des carrières d'une longueur jamais observée auparavant. Lise Dumasy a par exemple été la présidente de

Grenoble pendant 18 ans. Tout cela était conjoncturel mais cela s'est produit à un moment crucial des réformes. Notons aussi qu'il existe toujours une partie des présidents d'université qui ne suivent pas cette tendance et se contentent d'un mandat de cinq ans, pas toujours parce qu'ils ont échoué à être réélus. C'est un fait qui interroge et qui, peut-être, est l'indice que la bureaucratisation des carrières n'est pas une fatalité dans tous les cas. Cette question de la reprise éventuelle d'une carrière scientifique après des fonctions administratives mériterait d'être étudiée plus précisément, comme nous l'avons déjà dit.

Un autre moment-clef pour la CPU se situe au moment des concours IDEX. Tous les candidats IDEX, ceux qui brûlaient de devenir visibles dans le classement de Shanghai, formèrent une association propre, la CURIF, la Coordination des universités de recherche intensive françaises, qui s'est auto-proclamée pendant quelques années comme l'élite des universités du pays. Un certain nombre d'universités de province se mirent alors à protester en arguant que toutes les universités font de la recherche et elles ont fondé l'AUREF, l'Association des universités de recherche et d'enseignement de France, créant ainsi un pôle d'opposition. C'est un premier ébranlement de la CPU. Un deuxième est intervenu lorsque le concours IDEX s'est achevé en retenant finalement neuf universités, et pas plus, ce qui scindait la CURIF en deux groupes, les gagnants et les perdants. La CURIF a donc fermé, évidemment, tandis que les heureuses élues formaient l'UDICE. Ces diverses crises et la différenciation universitaire elle-même ont fait que ce qui s'appelle aujourd'hui « France Université » n'a plus rien à voir avec le rôle que la CPU a pu jouer au déclenchement de la réforme.

► **Matapli : Au cours de l'étude, avez-vous eu des surprises ? Avez-vous observé des choses inattendues ?**

► **C.T :** Oui, il y a des résultats qu'on ne prévoyait pas. Le fait que notre typologie serait aussi prédictive, et aiderait à ce point à lire une suite d'événements a été une belle surprise. Notre idée de base était qu'il n'y a pas de réforme sans réformateurs. Ce qui nous intéressait, c'était d'essayer de comprendre comment la réforme avait recruté ses agents et comment ceux-ci s'étaient mobilisés. C'était un système de poule et d'œuf qu'on voulait décrire, avec ce double processus de prélèvement dans des viviers puis de mobilisation des gens ainsi recrutés pour faire fonctionner la chaîne. Le fait que la typologie des principaux dirigeants obtenue rende compte par exemple du changement dans la composition des états-majors était inattendu.

Une autre chose à laquelle nous ne nous attendions pas, c'est que la charnière du Pacte pour la recherche de 2004 et le ministère Pécresse a été marqué par la colonisation des organismes, et du CNRS en particulier, par un personnel provenant du ministère. On a vu, par exemple, tous les agents impliqués dans la promotion de la bibliométrie comme outil principal de l'évaluation passer directement des services du ministère aux postes de direction du CNRS et de l'AERES concernés par ces procédures.

Une autre surprise a été d'observer à quel point le rôle des bureaucraties européennes a été crucial dans la mise en place de la doctrine en matière d'évaluation. Avant l'AERES, il y avait la MSTP, une sorte de grosse machine à évaluer qui remontait à la loi Savary et qui rendait des avis, notamment sur les formations. Au moment où le mot d'ordre « il faut évaluer », « pas d'autonomie sans évaluation », s'est imposé, le person-

nel de la MSTP semble s'être trouvé pris de court alors qu'ils devaient mettre en place l'agence d'évaluation. Ils ont donc repris à leur compte et traduit en français tous les manuels des bureaucraties européennes mobilisées sur les « procédures qualité ». Autant nous insistons dans notre travail sur le caractère endogène, ou franco-français, des rapports de forces explicatifs, autant on a observé, sur ce point et à ce moment-là, une pure et simple copie des prescriptions européennes.

Enfin, l'aspect chaises musicales du jeu de l'accès aux postes de direction, même si on pouvait s'y attendre, a été surprenant (et même comique) par son ampleur et son caractère systématique.

► **Matapli : Comment expliquer la présence importante des universités de province dans l'AERES ?**

► **C.T. :** Voilà encore une petite découverte que nous avons faite, à propos du seul cas des SHS toutefois. On peut faire quelques hypothèses pour répondre à cette question. L'AERES avait besoin d'un personnel nombreux pour piloter la masse énorme des comités de visite. Effectivement, du point de la typologie des carrières de ce personnel d'encadrement, ils ont été recrutés surtout parmi les petits administrateurs d'universités moyennes de province. Il s'agissait de gens qui, au sein de leur université, avaient acquis des compétences bureaucratiques, mais dont les espoirs de passer à une vice-présidence étaient très minces et qui ont saisi cette occasion pour faire une carrière nationale.

Ce qui est assez caractéristique, c'est qu'il n'y avait pratiquement pas de scientifique un peu notoire parmi les délégués scientifiques de l'AERES. C'était paradoxal de voir l'agence chargée de surveiller l'excellence peuplée par gens qui, si on les prend au mot de leurs propres critères... n'étaient pas si excellents que ça.

Nous avons observé, en revanche, une situation toute différente dans les bureaux des sections du CoNRS ou dans les présidences de comités scientifiques de l'ANR où les profils « savants » dominant.

► **Matapli : Mais comme ce sont les comités, où peuvent siéger des scientifiques d'importance, qui évaluent les laboratoires, ça n'est peut-être pas très importants finalement ?**

► **C.T. :** Attention : il ne faut pas croire que les « comités d'experts » de l'AERES/H-CERES ont un poids si important que ça en matière d'évaluation. Un comité, ce sont des collègues qui sont réunis une seule fois, pour une seule expertise. Ce ne sont pas eux qui discutent et décident de leurs critères d'évaluation : ils doivent suivre un manuel qui leur est imposé. Surtout, ils ont très peu de temps pour lire les rapports de plus en plus volumineux que l'on exige des laboratoires, très peu de temps aussi pour discuter collectivement de leurs évaluations. À l'opposé, être membre d'une section du CNU, ou d'une section du CoNRS, signifie qu'on a admis qu'on allait passer du temps à faire ce travail pendant 4 ans.

Ensuite, les membres d'un comité AERES n'ont pas la responsabilité de l'adoption du rapport. Dans une section du CoNRS, les rapporteurs s'expriment, la discussion a lieu, il faut argumenter face aux collègues, puis chaque rapport est voté, tout le monde assume la responsabilité du rapport. Pour l'AERES, ce n'est pas le cas, puisque seul le président du comité de visite est signataire du rapport.

Enfin, il y a le problème de la notation. Au début, il y avait une note finale qui était fixée dans ce qu'ils appelaient les « réunions de restitution » où siégeait un délégué scientifique de l'AERES qui, avec un ensemble de présidents des comités de visite de la même discipline, avait pour responsabilité d'ajuster les notes. L'institution leur demandait, par exemple, de prendre en compte le reproche souvent adressé à l'AERES qui était de noter trop large. La consigne des délégués scientifiques était de mettre suffisamment laboratoires en B, pour ne pas avoir que des A ou des A+. Et sur le plan strictement formel, dans les statuts mêmes de l'AERES, les rapports et les notes étaient adoptés par le conseil de l'AERES, entièrement nommé par le directeur, lui-même nommé par le ministre. La note unique a disparu après avoir joué son rôle de tri en amont des procédures d'excellence, mais les notes actuelles par critère sont attribuées de la même façon.

Donc, le rôle de nos collègues des comités d'experts est, je crois, assez limité, même s'ils ne s'en rendent pas toujours compte.

► **Matapli : Une dernière question, sur les suites possibles. Sans être central dans votre livre, le financement par projet revient de manière récurrente. Y aurait-il un travail à mener sur ce point ?**

► **C.T. :** Oui, il me semble qu'il y a là une piste pour poursuivre le type de recherches menées dans notre livre. Il s'agirait d'examiner finement les effets de la recherche sur projet sur les productions scientifiques, sur les contenus de science. Nous n'avions pas les forces pour le faire mais il saute aux yeux que c'est absolument essentiel. Chacun à partir de son expérience personnelle ou collective, à l'échelle de sa petite communauté, pressent que le pilotage par les projets oriente les recherches dans certains directions au détriment d'autres. Mais, faute d'enquêtes systématiques, on n'a pas de vision d'ensemble. Si des mathématiciens voulaient s'y coller pour leur discipline, ce serait formidable !

## Joël LAILLIER



Joël Laillier est maître de conférences à l'université d'Orléans et chercheur au Centre Maurice Halbwachs.

**Email :** [joel.laillier@ens.fr](mailto:joel.laillier@ens.fr)

## Christian TOPALOV



Christian Topalov est directeur de recherche CNRS, directeur d'études à l'EHESS et chercheur au Centre Maurice Halbwachs.

**Email :** [christian.topalov@ehess.fr](mailto:christian.topalov@ehess.fr)



# Le réseau des centres mathématiques Tianyuan en Chine

par :

Claude-Michel BRAUNER — IMB, université de  
Bordeaux, correspondant SMAI en Chine

## Un peu d'histoire

Le fonds Tianyuan de mathématiques a été créé en 1990 pour favoriser le développement de la recherche mathématique en Chine. Le nom « *Mathematical Tianyuan Fund* » a été suggéré par Dianzhou ZHANG (East China Normal University), un spécialiste de l'analyse fonctionnelle et de l'histoire des mathématiques. « *TianYuan* » est lié aux anciennes mathématiques chinoises et fait référence à l'utilisation du ciel (« *tian* ») comme un élément équivalent au  $x$  des mathématiques modernes. Il s'agit également d'un titre honorifique pour les joueurs de go, synonyme dans la société chinoise de champion et de gagnant.

Mais c'est en 2017 que le comité de direction du fonds Tianyuan de la *National Natural Science Foundation of China* (NSFC) a lancé le programme de création de centres mathématiques Tianyuan avec un projet ambitieux de développement régional équilibré géographiquement des mathématiques en Chine, prévoyant l'ouverture d'un réseau de plateformes collaboratives de recherche. Le premier groupe de centres Tianyuan comprenait les centres du nord-est, du nord-ouest et du sud-ouest de la Chine. Basé à l'université du Jilin à Changchun, avec le concours de 125 universités ou instituts de 29 provinces et régions autonomes, le centre du nord-est visait à établir une plateforme orientée particulièrement vers les mathématiques computationnelles, l'analyse et les statistiques. Le centre du nord-ouest s'appuie sur l'université de Xi'an (XJTU) dans la province du Shaanxi. Son but était de développer une base pour la recherche interdisciplinaire, en association avec d'autres disciplines. Le centre du sud-ouest (TMCSC) est hébergé et opéré par l'université du Sichuan à Chengdu, en collaboration avec 9 autres universités du sud-ouest dont *Southwest Jiatong University*, les universités de Chongqing, du Guizhou à Guiyang et du Yunnan à Kunming.

Deux autres centres ont été créés par la suite, portant alors à 5 le nombre de centres mathématiques Tianyuan (nord-ouest, sud-ouest, nord-est, sud-est et centre de la Chine). Le centre Tianyuan du sud-est (TMSE) est basé à l'université de Xiamen et bénéficie du support d'autres universités des provinces du Fujian, Zhejiang, Guangdong, Jiangxi et

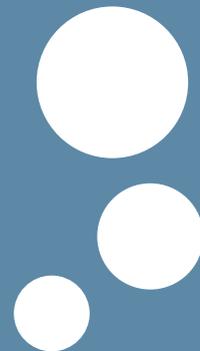
Hainan. Ce centre s'intéresse plus particulièrement à la recherche en mathématiques pures et aux applications interdisciplinaires. Le centre Tianyuan du centre s'appuie principalement sur l'université de Wuhan en liaison avec des universités de la région centrale de la Chine (Hubei, Hunan, Anhui, Jiangsu, Henan et Hebei). Ses activités s'articulent autour des EDP, l'analyse géométrique et l'analyse complexe, le calcul à haute performance et les systèmes dynamiques.

### **Le centre de recherche mathématique Tianyuan de Kunming**

Le centre de recherche mathématique Tianyuan (TYMRC) de Kunming, dans la province du Yunnan, a été récemment créé conjointement par la National Natural Science Foundation of China (NSFC), l'Académie des mathématiques et des sciences des systèmes (AMSS), l'Académie chinoise des sciences (CAS), la Société mathématique chinoise et la ville de Kunming. Voulu comme un « Oberwolfach chinois », le centre est situé dans la zone touristique du réservoir de Chaishitan, dans le comté de Yiliang, à proximité de la ville de Kunming et d'un aéroport international. Des conférences de mathématiques pures ou appliquées se succèdent chaque semaine, l'hôtellerie sur place étant assurée par le centre. Seuls les voyages et des activités comme la visite de l'extraordinaire « forêt de pierre » de Shilin sont à la charge des participants ou des organisateurs.

Un « Séminaire sur les nouvelles synergies entre le calcul scientifique et l'analyse appliquée » a été organisé du 19 au 25 mai 2024 au TYMRC par Shi JIN (*Shanghai Jiao Tong University*), Jie SHEN (*Eastern Institute of Technology, Ningbo*) et Tao TANG (*BNU-HKBU United International College*). La responsable de l'organisation de la conférence était Xiaoqin SHEN (*Xi'an University of Technology*) dont l'université a également apporté une contribution financière.

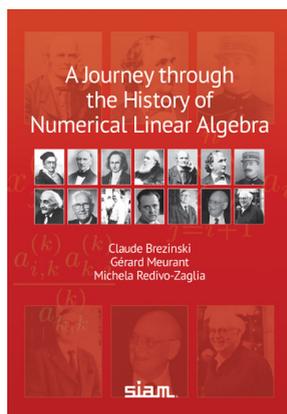
L'objectif du workshop était de réunir au TYMRC des spécialistes de l'analyse des EDP comme Jerry BONA (*University of Illinois at Chicago*) et des experts du calcul scientifique pour discuter ensemble des avancées récentes et des problèmes ouverts en analyse et simulation numérique de systèmes non linéaires complexes, particulièrement dans les domaines de la dynamique des fluides et des matériaux. Le magnifique environnement du TYMRC et la taille réduite de la conférence offraient un cadre stimulant pour les interactions entre analystes et numériciens. Les invités français étaient Claude-Michel BRAUNER (IMB, université de Bordeaux), Olivier GOUBET (LPP, U-Lille) et Carole ROSIER (LMPA, ULCO).



## ***A JOURNEY THROUGH THE HISTORY OF NUMERICAL LINEAR ALGEBRA*** PAR **CLAUDE BREZINSKI, GÉRARD MEURANT, MICHELA REDIVO-ZAGLIASIAM (2022)**

*par :*

*Ana MATOS — Département de Mathématiques,  
Laboratoire Paul Painlevé, Université de Lille*



L'algèbre linéaire numérique ou calcul matriciel est un domaine clé de l'analyse numérique sur lequel repose une grande partie de méthodes de résolution de problèmes de mathématiques appliquées et calcul scientifique, allant des méthodes de résolution numérique des équations différentielles ou dérivées partielles à la résolution de systèmes d'équations non linéaires. La résolution des systèmes linéaires et le calcul des valeurs et vecteurs propres sont des problèmes fondamentaux à savoir résoudre. L'évolution du type de problèmes scientifiques (en mathématiques, physique, ingénierie, ...), notamment en taille des systèmes, précisions requises et moyens de calcul a rendu possible le développement de nouvelles méthodes et de variantes de celles existantes. C'est cette histoire, l'évolution des méthodes numériques en algèbre linéaire depuis les civilisa-

tions anciennes (babylonienne, égyptienne, chinoise, indienne, ...) jusqu'à nos jours qui est présentée le long de ce livre.

Le livre comprend deux parties, aussi riche l'une que l'autre. La première se compose de 7 chapitres thématiques traitant des matrices et leurs propriétés, méthodes directes d'élimination et méthodes itératives pour la résolution des systèmes linéaires, factorisations de matrices, calcul des valeurs et vecteurs propres, fonctions de matrices, équations de Sylvester et Lyapunov. Pour chaque thème, les premières méthodes développées sont présentées, ainsi que les problèmes importants à résoudre à chaque époque, et les évolutions nécessaires pour faire face aux progrès de la science et des moyens de calcul sont très bien motivées. Chaque chapitre comporte des citations d'œuvres de mathématiciens en rapport avec les sujets traités qui clarifient les besoins de nouveaux concepts et méthodes en fonction des problèmes de l'époque, les liens entre eux qui aident à comprendre la genèse de nouveaux algorithmes et les influences entre générations de mathématiciens.

Deux chapitres supplémentaires complètent cette partie. Le premier est un intéressant résumé des machines de calcul de l'abacus aux ordinateurs actuels (super ordinateurs, ordinateurs parallèles) en passant par les calculateurs mécaniques et calculateurs numériques. Leur évolution et son influence dans les méthodes de calcul sont décrites, et on comprend comment les algorithmes se sont adaptés aux outils de calcul disponibles. Le deuxième résume les logiciels et les bibliothèques de programmes d'algèbre linéaire numérique (Linpack, Lapack, Matlab, ...) qui ont beaucoup progressé le long des temps en s'adaptant aux nouvelles architectures d'ordinateurs.

La deuxième partie contient une petite biographie de 78 mathématiciens qui ont contribué au développement des méthodes de calcul matriciel, avec pour chacun un résumé de ses contributions qui permettra au lecteur intéressé d'obtenir rapidement quelques informations complémentaires sur les mathématiciens qu'il cite souvent dans ces travaux.

Une bibliographie exhaustive (3344 références) conclut l'ouvrage, source de beaucoup de pépites qui sûrement intéresseront tout chercheur en analyse numérique.

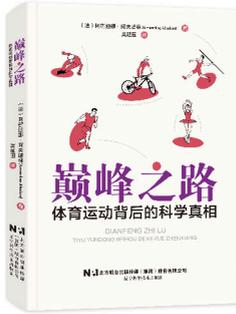
Une citation de Paul Langevin contenue dans ce livre me paraît très bien illustrer l'importance de ce livre : "l'histoire des efforts passés et l'évolution des idées", "les œuvres des savants d'autrefois", sont cruciaux, aussi bien du point de vue recherche qu'enseignement pour continuer le développement de nouvelles méthodes.

Ce livre est un outil précieux aussi bien pour tout chercheur en histoire des thématiques que tout enseignant-chercheur en analyse numérique. Il y trouvera une quantité de curiosités qui enrichiront sa culture mathématique et le contenu de ses cours, il comprendra la genèse et évolution des concepts et méthodes numériques, essentiel et inspirant dans toute activité de recherche et permettant de mieux transmettre et captiver les étudiants.

## LE SPORT EXPLIQUÉ PAR LES SCIENCES TRADUIT EN CHINOIS

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

Claude-Michel BRAUNER — Institut de  
Mathématiques de Bordeaux, correspondant de la  
SMAI en Chine

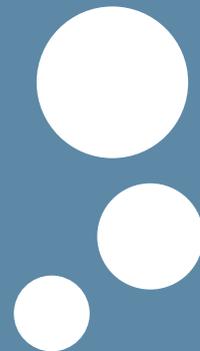


Le livre d'Amandine AFTALION (mathématicienne, directrice de recherche au CNRS), *Pourquoi est-on penché dans les virages, le sport expliqué par les sciences en 40 questions*, a été publié aux CNRS Éditions en 2023. Comme le montre l'auteur, l'optimisation mathématique permet de combiner toutes les contraintes que rencontre le sportif pour déterminer à chaque instant la meilleure stratégie, ce qui fait appel à la théorie de l'optimisation. On peut ainsi souhaiter minimiser le temps, la trajectoire, l'énergie dépensée, l'effort fourni, la résistance d'un matériau.

Ce livre qui a eu beaucoup de succès vient d'être traduit en chinois après une première traduction en anglais.

Le titre chinois est *La route du sommet, la vérité scientifique derrière le sport*. Rappelons que les sportifs chinois ont remporté à Paris 2024 un total de 91 médailles aux Jeux olympiques et 220 médailles aux Jeux paralympiques!





*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.*

## THÈSES DE DOCTORAT D'UNIVERSITÉ

► *Thèse soutenue par* : Aitor ARTOLA

► *Sous la direction de* : Jean-Michel Morel et Thibaud Ehret (Centre Borelli, ENS Paris-Saclay).

---

### Une méthode générique pour la détection d'anomalie sur pièce manufacturées

*Soutenue le 4 juin 2024  
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse se penche sur les méthodes par apprentissage pour le contrôle optique de la qualité dans l'industrie. L'objectif est de fournir des solutions automatiques et robustes qui ne nécessitent pas l'intervention d'un expert en vision par ordinateur pour s'adapter à un nouvel objet. Dans la première partie, nous proposons d'ajouter une première étape de normalisation d'image à la chaîne de détection d'anomalies, ce qui facilite les étapes d'apprentissage subséquentes. Nous étudions les méthodes de recalage d'images et développons une alternative pour recalibrer des objets répétitifs, qui soit aussi robuste aux symétries et aux motifs redondants. Nous proposons également une méthode d'apprentissage non supervisée de normalisation d'image par réseau neuronal afin de réduire l'impact de la variabilité normale sur les fausses détections. La deuxième partie traite des modèles stochastiques de fond utilisés pour apprendre la structure des images d'objets conformes et pour mesurer les déviations de la normalité. Nous passons d'abord en revue ces méthodes et montrons que des modèles simples peuvent atteindre des performances

de pointe en utilisant des réseaux de neurones pré-entraînés pour produire une représentation (embedding) des images. Nous proposons ensuite GLAD, un détecteur d'anomalies basé sur un modèle de mélange de gaussiennes qui utilise un apprentissage global-local pour être économe en données. Puis, nous démontrons que les détecteurs d'anomalies récents ne sont pas adaptés aux cas réels en raison de biais introduits par les bases de données utilisées pour la comparaison. En particulier, nous soulignons la fragilité de ces modèles en cas de variations modérées de la capture des objets observés. Nous proposons une version en ligne de GLAD qui est capable de s'adapter à l'évolution des produits sans avoir à réapprendre de zéro. Dans le dernier chapitre de cette partie, nous montrons que GLAD est un détecteur d'anomalies généraliste, applicable à la détection de changements dans la vidéo. Dans la troisième partie de la thèse, nous discutons de la représentation des données. La plupart des solutions, y compris la nôtre, utilisent la classification sémantique comme tâche prétexte pour apprendre la représentation (embedding) d'une image. Nous montrons que de tels réseaux préentraînés (backbones) ne sont pas adaptés à la détection de petites anomalies. Nous développons deux alternatives pour résoudre ce problème dans les deux derniers chapitres. Tout d'abord, nous explorons l'utilisation de backbones conçues pour la segmentation sémantique ainsi que d'autres stratégies multi-échelles pour la détection d'anomalies. Ensuite, dans le dernier chapitre, nous étudions la manière d'affiner la représentation des images normales en utilisant l'apprentissage auto-supervisé et contrastif afin d'améliorer le traitement de leur variabilité.

► *Thèse soutenue par* : **Loïc BALAZI**

► *Sous la direction de* : Grégoire Allaire (CMAP, École Polytechnique), Pascal Omnes (CEA).

---

**Multi-scale Finite Element Method for incompressible flows in heterogeneous media : Implementation and Convergence analysis**

*Soutenue le 16 octobre 2024  
CMAP, École Polytechnique*

---

**Résumé :**

Cette thèse porte sur l'application d'une méthode d'éléments finis multi-échelles (MsFEM) pour résoudre les écoulements incompressibles dans des milieux hétérogènes. En effet, la simulation de l'écoulement dans un milieu comportant de nombreux obstacles, tel que le cœur d'un réacteur nucléaire, est un défi de taille. Afin de capturer avec précision les échelles les plus fines de l'écoulement, il est nécessaire d'utiliser un maillage très fin. Cependant, cela conduit souvent à des simulations difficiles à réaliser en raison du manque de ressources informatiques. Pour

remédier à cette limitation, cette thèse développe une MsFEM non-conforme enrichie pour résoudre les écoulements visqueux incompressibles dans des milieux hétérogènes, basée sur la méthode classique des éléments finis non conformes de Crouzeix-Raviart avec des fonctions de poids d'ordre élevé. La MsFEM utilise un maillage grossier sur lequel de nouvelles fonctions de base sont définies. Ces fonctions ne sont pas les fonctions de base polynomiales classiques des éléments finis, mais résolvent les équations de la mécanique des fluides sur les éléments du maillage grossier. Ces fonctions sont elles-mêmes approximées numériquement sur un maillage fin, en tenant compte de tous les détails géométriques, ce qui confère à cette méthode son aspect multi-échelle. Une étude théorique de la MsFEM proposée est menée aux niveaux continu et discret. Tout d'abord, le caractère bien posé des problèmes locaux discrets impliqués dans la MsFEM a été démontré à l'aide de nouvelles familles d'éléments finis. Pour ce faire, une nouvelle famille d'éléments finis non conformes en trois dimensions sur les tétraèdres a été développée. En outre, la première estimation d'erreur pour l'approximation du problème de Stokes dans des milieux perforés périodiques à l'aide de cette MsFEM est établie, démontrant sa convergence. Cette estimation est basée sur la théorie de l'homogénéisation du problème de Stokes dans les domaines périodiques et sur la théorie usuelle des éléments finis. Au niveau numérique, la MsFEM pour résoudre les problèmes de Stokes et d'Oseen a été implémenté dans un cadre massivement parallèle dans FreeFEM. En outre, une méthodologie préliminaire pour résoudre le problème de Navier–Stokes est fournie.

► *Thèse soutenue par* : **Leila BASSOU**

► *Sous la direction de* : Nizar Touzi (CMAP, École Polytechnique, Tandon School of Engineering, New York).

---

### **Méthodes de contrôle optimal pour le risque systémique**

*Soutenue le 27 juin 2024  
CMAP, École Polytechnique*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse porte sur l'étude des équilibres de Nash du modèle de détentions mutuelles sous divers cadres. Ce modèle, présenté pour la première fois dans le papier de M-F. Djete et N. Touzi en 2020, vise à capturer l'interdépendance entre différents agents économiques, en prenant en compte à la fois les détentions mutuelles de parts entre les entités et leurs revenus potentiellement corrélés. La thèse est structurée en trois parties :

Dans la première partie, nous avons analysé le jeu à population finie dans le cadre du critère d'utilité exponentielle. Dans les cas statiques et déterministes, sous une

dynamique de type Bachelier gaussienne, nous avons obtenu une caractérisation complète des équilibres de Nash ainsi que leurs conditions d'existence.

La deuxième partie est consacrée à l'analyse du jeu à champ moyen avec bruit commun (où les revenus sont corrélés), selon le critère moyenne-variance sur une période. La résolution de ce problème a révélé une structure associée à une condition de non-arbitrage. Dans ce contexte, nous avons déterminé une caractérisation explicite de cette condition ainsi qu'une caractérisation complète des équilibres de Nash.

Dans la troisième partie, nous avons étendu le jeu à champ moyen avec bruit commun au cadre du temps continu. Dans ce contexte, une condition de non-arbitrage plus faible a été utilisée. Sa caractérisation permet de simplifier le problème d'optimisation de l'agent représentatif en le transformant en un problème classique d'optimisation de portefeuille avec des dotations aléatoires.

► *Thèse soutenue par* : Mehdi BOUSSÂA

► *Sous la direction de* : Rémy Abergel (MAP5), Sylvain Durand (MAP5), Yves Frapart (LCBPT, université Paris Cité).

---

**Variational methods for electron paramagnetic resonance oximetry**

*Soutenue le 4 octobre 2024  
MAP5, Université Paris Cité*

---

**Résumé :**

L'Imagerie par Résonance Paramagnétique Electronique (IRPE) et la spectroscopie (RPE) sont des techniques non invasives pour localiser, caractériser et quantifier les espèces paramagnétiques. La RPE consiste à appliquer un champ magnétique et à détecter l'absorption des micro-ondes par des électrons non appariés, fournissant des informations sur l'environnement des électrons. L'imagerie RPE a des applications dans divers domaines scientifiques, une application importante est l'oxymétrie, cruciale pour la gestion du traitement des tumeurs ou des maladies cardiaques. L'IRPE est une méthode prometteuse pour l'oxymétrie in-vivo en raison de sa nature non invasive, de sa capacité à quantifier l'oxygène et de son bas coût. Cependant, l'observation directe de l'oxygène en IRPE n'est pas possible in-vivo dans les imageurs précliniques, nécessitant une détection indirecte par ses interactions avec des sondes RPE.

L'acquisition IRPE s'effectue similairement à celle d'EPR mais avec des gradients de champ magnétique supplémentaires, enregistrant ainsi des projections autour de l'échantillon. Les méthodes traditionnelles de reconstruction d'image, comme la rétroprojection filtrée, sont moins efficaces que les méthodes variationnelles, en particulier celles basées sur la variation totale (TV), qui fournissent des images sans

bruit avec des bords nets à partir de moins de projections. Ceci est vital pour l'oxymétrie IRPE, où les méthodes actuelles utilisant l'Imagerie Spectrale-Spatiale (SSI) nécessitent de nombreuses projections, rendant les expériences in-vivo difficiles.

Dans ce manuscrit, nous proposons une modélisation mathématique d'une acquisition RPE pour des particules de spin  $1/2$ , puis un opérateur direct est dérivé dans un cadre IRPE continu pour modéliser la relation entre les mesures et l'échantillon paramagnétique, en tenant compte des phénomènes physiques pendant l'acquisition. Cet opérateur est ensuite discrétisé pour prendre en compte la nature discrète des mesures, fournissant un lien clair entre les mesures et l'image discrète à reconstruire.

Ensuite, nous exposons les bases mathématiques de l'imagerie RPE avec plusieurs espèces à l'intérieur de l'échantillon, détaillant la reconstruction de cartes de concentration distinctes à l'aide d'une méthode variationnelle de séparation de sources basée sur la variation totale. Nous démontrons ensuite avec succès la méthode dans des expériences in-vitro, séparant deux composés, initialement un TAM et un TEMPO, puis la séparation plus difficile entre un TAM et un DPPH, tout en examinant les défis d'acquisitions réelles et en discutant des stratégies pour les relever.

En traitant les sondes RPE sous différentes conditions d'oxygène comme des espèces distinctes, le cadre de séparation de sources est dans ce manuscrit adapté pour l'oxymétrie sans acquisition SSI, réduisant considérablement le temps d'acquisition requis. Des expériences synthétiques sont menées pour établir une première référence de l'efficacité de la méthode.

► *Thèse soutenue par* : **Pierre CATOIRE**

► *Sous la direction de* : Loïc Foissy (LMPA).

---

### **Contexte algébrique d'applications des algèbres de Hopf combinatoires**

*Soutenue le 30 septembre 2024  
LMPA, Université du Littoral Côte d'Opale*

---

#### **Résumé :**

Dans ce travail de thèse encadré par Loïc Foissy, j'ai étudié différentes structures d'algèbres de Hopf combinatoires utilisées dans des domaines variés des mathématiques : étude d'objets combinatoires, théorie des probabilités libres, analyse numérique, topologie algébrique, théorie des champs quantiques, recherche de solution aux équations de Yang-Baxter... Plus précisément, mon but a été de mieux comprendre la nature précise structures algébriques précises derrière certaines de ces applications, afin d'appliquer cet outil à d'autres domaines des mathématiques. Dans un premier temps, j'ai étudié les algèbres tridendriformes aussi appelées algèbres de battages. Ce type d'algèbre a des liens intéressants avec les équations

de Yang-Baxter et la théorie des probabilités libres. Cette branche des probabilités traitent des cas où les variables aléatoires ne prennent pas leurs valeurs dans des espaces commutatifs comme l'algèbre des matrices. Différentes notions d'indépendances apparaissent via des quantités appelées *cumulants* pour remplacer la notion classique. Les relations entre ces cumulants sont complexes mais peuvent s'interpréter via des structures d'algèbres de Hopf combinatoires. L'opération combinatoire considérée est un analogue du battage de cartes à l'américaine. Lorsque nous mélangeons deux paquets de cartes en utilisant cette technique, on remarque que la carte en dessous de chaque paquet reste en dessous de toutes les cartes du paquet d'origine. Cette algèbre munie de ce produit de *battage*, n'est pas *libre*. Ceci signifie qu'elle ne permet pas d'obtenir « toutes » les algèbres tridendriformes. Pour cela, il faut plutôt considérer les *arbres* comme objets combinatoires. Il a fallu donner une formule combinatoire précise pour « battre » des arbres puis on crée une structure d'algèbre de Hopf en y ajoutant un coproduit de coupe. S'en suit l'étude classique de cette algèbre : espace des primitifs, dual gradué...

Dans un second temps, j'ai travaillé avec des objets combinatoires complexes appelés *matroïdes*. Cet objet combinatoire vérifie une combinatoire intuitive provenant de la théorie des familles libres dans un espace vectoriel. Or, certains de ces objets ne peuvent provenir de familles de vecteurs. Ceci en fait un objet intéressant d'étude pour des raisons combinatoires et géométrique dû à ses liens avec les arrangements de *pseudo-hémisphères*. J'ai cherché à établir une structure de bigèbre double sur ces objets afin de les comprendre plus finement. En effet, cette notion permet d'obtenir naturellement une notion de polynôme chromatique. Pour cela, il a fallu déterminer une notion de quotient de matroïde et étudier sa compatibilité avec la notion de restriction de matroïde déjà connue.

Enfin, mon travail s'achève par l'étude des algèbres dites Post-Hopf. Elles sont utilisées en géométrie différentielle, en analyse numérique ou encore à la recherche de solution de l'équation de Yang-Baxter. Ces dernières sont intimement liées à la structure d'algèbres Post-Lie que l'on peut avoir sur l'espace des champs de vecteurs sur certaines variétés différentielles. Ceci permet d'améliorer des méthodes numériques sur ces variétés en utilisant l'algèbre de Munthe-Kaas-Wright. Mon travail a consisté à l'établissement de théorèmes de structures en présence d'éléments de type groupe ou non. Ceci revient à marier la structure de post-groupe et celle post-Lie pour obtenir une algèbre Post-Hopf via un produit tensoriel tordu.

► *Thèse soutenue par* : **Guillaume CHENNETIER**

► *Sous la direction de* : Josselin Garnier (CMAP), Hassane Chraïbi et Anne Dufloy (EDF R&D).

---

## **Simulation d'événements rares pour des processus de Markov déterministes par morceaux**

*Soutenu le 24 septembre 2024  
CMAP, École Polytechnique*

### **Résumé :**

Cette thèse propose une nouvelle méthodologie d'estimation de probabilités d'événements rares reposant sur la simulation de processus de Markov déterministes par morceaux (PDMPs). Cette classe très générale de processus offre la flexibilité nécessaire pour représenter fidèlement des systèmes industriels dynamiques complexes. Elle permet en particulier de modéliser conjointement la dynamique déterministe et continue des variables physiques du système (température, pression, etc.), et la dynamique de saut aléatoire qui régit le changement de statut de ses composants (pannes, réparations, etc.). L'enjeu industriel est de permettre à notre partenaire industriel EDF d'estimer la probabilité de défaillance de tels systèmes efficacement, et avec une précision garantie. Ces systèmes étant complexes et hautement fiables, ils sont coûteux à simuler numériquement et leur défaillance est rare. L'approche Monte-Carlo classique réclame alors une quantité prohibitive de simulations pour estimer cette probabilité de défaillance. Nous nous sommes tournés vers l'échantillonnage préférentiel : les simulations sont générées sous une distribution biaisée favorisant la réalisation de l'événement, et le biais est rectifié a posteriori. Des travaux récents ont mis en évidence le lien existant entre la distribution biaisée optimale dans le cadre des PDMPs et ce qu'on appelle la "fonction committor" du processus. À l'aide d'outils issus de l'analyse fiabiliste et de la théorie des marches aléatoires sur graphes, de nouvelles familles d'approximations de la fonction committor sont introduites dans cette thèse. La méthodologie proposée est adaptative : une approximation de la fonction committor est construite a priori puis raffinée au cours des simulations d'une procédure d'entropie croisée. Les simulations sont ensuite recyclées pour produire l'estimateur final. Nous donnons des garanties théoriques de convergence (avec intervalles de confiance) et mettons en œuvre avec succès la méthode sur des cas tests industriels.

► *Thèse soutenue par :* **Lucas CURCI**

► *Sous la direction de :* Florence Hubert (Institut de Mathématiques de Marseille), Marie-Pierre Valignat (Aix-Marseille université, laboratoire Adhésion & Inflammation).

## **Modélisation mathématique de la migration cellulaire : étude de cas atypiques d'haptotaxie adhésive**

*Soutenu le 21 octobre 2024  
Institut de Mathématiques de Marseille*

**Résumé :**

Cette thèse se concentre sur la modélisation de l'haptotaxie adhésive dans la migration cellulaire. Sur des substrats d'adhésivité variable, les cellules se dirigent classiquement vers les zones de forte adhésion. Mais, les expériences menées au Laboratoire Adhésion & Inflammation (LAI) à Marseille ont révélé un comportement contraire appelé haptotaxie adhésive inverse. Grâce à la modélisation mathématique, on explique la possible origine de ces comportements antagonistes. Le premier chapitre de cette thèse rappelle les bases biologiques sous-jacentes, détaille les expériences menées au LAI et décrit les modèles mathématiques que l'on va utiliser. Dans un deuxième chapitre, on détaille un modèle basé sur le champ de phase et sa discrétisation par la méthode Discrete Duality Finite Volume (DDFV), et on propose des simulations numériques illustrant sa robustesse. Dans un troisième chapitre, nous étudions plus en détail la dynamique d'adhésion entre la cellule et le substrat. Pour cela, nous partons d'un autre modèle proposé par Aronson et Ziebert qui modélise l'impact de l'adhésion sur la propulsion de la cellule. Nous simulons ainsi des phénomènes d'haptotaxie adhésive inverse. Nous proposons alors de coupler la dynamique d'adhésion de la cellule à un terme modélisant la polymérisation de l'actine. Nous sommes ainsi arrivés à reproduire des phénomènes d'haptotaxie adhésive classique. Le dernier chapitre aborde une nouvelle approche prenant en compte la limitation des ligands d'adhésion, reproduisant non seulement les deux types d'haptotaxie adhésives, mais aussi des phénomènes que l'on a appelé effet rebond.

► *Thèse soutenue par* : Ariane CWILING

► *Sous la direction de* : Olivier Bouaziz (MAP5), Vittorio Perduca (MAP5).

---

**Statistical and machine learning methods for survival data :  
prediction, performance assessment and interpretability**

*Soutenue le 15 octobre 2024*

*MAP5, université Paris Cité*

---

**Résumé :**

In the context of right-censored data, we study the problem of predicting the time to event, restricted to a fixed time horizon, based on a set of covariates. For instance, predicting the time to the onset of a disease or of a relapse for a patient based on their attributes is of great interest in medical applications. Under a quadratic loss, this problem is equivalent to estimating the conditional Restricted Mean Survival Time (RMST), a widely used and easily interpretable quantity. In this PhD thesis, we build a comprehensive analysis framework for the prediction of the time to event from right-censored data, including a new prediction method combining

pseudo-observations and super learner, as well as new criteria to assess the performance and to enhance the interpretability of such RMST estimators. Specifically, a criterion that estimates the mean squared error of an RMST estimator is presented. A model-agnostic conformal algorithm adapted to right-censored data is also introduced to compute prediction intervals and to evaluate local variable importance. Finally, a model-agnostic statistical test is developed to assess global variable importance. These tools are built on the Inverse Probability of Censoring Weighting (IPCW) methodology and are valid under classic assumptions. As for the new prediction method combining pseudo-observations and super learner, the theoretical results of the standard super learner are extended to right-censored data, using a new definition of pseudo-observations, the so-called split pseudo-observations. The method is flexible, easy-to-use and can be efficiently analyzed and interpreted in real-world situations by means of our new IPCW criteria.

► *Thèse soutenue par* : **Rana EL ARAYEH**

► *Sous la direction de* : Romain Abraham (université d'Orléans) et Daniel Raucoules (BGRM Orléans).

---

### **Développement d'une méthode innovante pour l'extraction des caractéristiques des vagues à partir d'imageries satellitaires**

*Soutenue le 1er juillet 2024  
Institut Denis Poisson, Université d'Orléans*

---

#### **Résumé :**

Pour comprendre les changements de la géomorphologie sous-marine, les informations bathymétriques régionales sont primordiales. Cette rareté peut être surmontée par des techniques satellitaires spatiales pour estimer la bathymétrie. Avec le développement de nouvelles missions à accès libre, les capteurs spatiaux représentent désormais une solution attractive pour un large public pour détecter à grande échelle les impacts côtiers à l'échelle locale. La relation de dispersion linéaire (1) peut être utilisée pour estimer une profondeur locale depuis les eaux intermédiaires jusqu'à la côte.

$$c^2 = g/k \tanh(kh) \Leftrightarrow h = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctanh}(2\pi c^2/g\lambda), \quad (1)$$

dans laquelle  $c$  est la célérité des vagues,  $h$  est la profondeur de l'eau,  $g$  représente l'accélération de la gravité,  $k$  est le nombre d'onde et  $\lambda$  est la longueur d'onde. Des études, par exemple Holman et al. (2013), montrent que la direction des ondes peut être extraite à l'aide de la transformée de Radon. Ils obtiennent les caractéristiques physiques des ondes ( $\lambda, c$ ) en appliquant la transformée de Fourier discrète

1D à l'espace de Radon (sinogramme) dans la direction d'onde la plus énergétique. Dans ce travail, nous avons effectué une recherche approfondie sur le traitement du signal contenu dans les images Sentinel-2 (capteur optique spatial ESA/Copernicus) et l'optimisation de ce signal. Ce travail est réalisé dans le but de l'extraction de la bathymétrie différentielle, avec intérêt pour la détection/évaluation des changements de la géomorphologie sous-marine. L'identification de tels changements a des applications potentielles dans l'analyse des risques liés à la sismotectonique, à la submersion, aux mouvements gravitationnels et morphodynamiques sous-marins, aux événements saisonniers ou extrêmes liés à la dynamique littorale. Ici, les bathymétries régionales sont dérivées sur le site d'Arcachon, France. Notre approche est basée sur le calcul du gradient autour de chaque point de l'image. Cette approche sera source d'amélioration de la méthode développée par Almar et al. (2019) et de Michele et al. (2012) qui nous donnera une meilleure estimation de la direction de propagation des ondes et la possibilité de traiter deux régimes de vagues croisées. Lors de l'analyse de données directionnelles, il convient souvent de prêter attention uniquement à la direction de chaque donnée, sans tenir compte de sa norme. La distribution de von Mises-Fisher (vMF) est la distribution de probabilité la plus importante pour de telles données (Chen et al. (2013)). Avec cette nouvelle technique, nous extrayons la direction des vagues en estimant les paramètres de la distribution de von Mises-Fisher à partir des gradients locaux autour de chaque point (voir également Tanabe et al. (2007)). Par conséquent, les caractéristiques des ondes dérivées de l'imagerie Sentinel-2 sont extraites à l'aide d'une transformée de Hough unidirectionnelle. Une transformée discrète de Fourier (DFT) est ensuite appliquée au signal de Hough pour dériver le spectre des fréquences spatiales des ondes. Le décalage temporel entre les bandes d'une image Sentinel-2 est utilisé pour calculer le déphasage spectral des ondes. Finalement, nous estimons la profondeur à l'aide de la relation de dispersion linéaire (1). En conclusion, le développement du modèle théorique basé sur la distribution de von Mises – Fisher (vMF) est une méthode alternative pour effectuer le traitement afin de produire une bathymétrie côtière en comparant les résultats avec l'ensemble de données bathymétriques GEBCO. Les objectifs ultimes sont de développer notre approche dans le but d'améliorer la méthode de détection des mélanges de modèle de la distribution de von Mises – Fisher.

**Mots-clés :** bathymétrie, traitement du signal, imagerie spatiale.

► *Thèse soutenue par :* **Thibault FILLION**

► *Sous la direction de :* Francesco Piazza (université de Florence) et Josef Hamacek (università di Perugia).

---

**Effets de non-équilibre en biologie cellulaire :**

## Modélisation mathématique et informatique de la transduction du signal par les protéines G et autres réseaux biochimiques de réaction-diffusion

*Soutenue le 19 juillet 2024  
Université d'Orléans*

### Résumé :

Les propriétés diverses des organismes vivants émergent de réseaux complexes de réactions biochimiques. Ces systèmes reposent fortement sur des effets de non-équilibre, résultant de la conduction hors-équilibre soutenue de différentes espèces, des photons arrivant continuellement du soleil aux nucléotides di et triphosphate maintenus à des niveaux de non-équilibre dans le cytosol par le métabolisme. En effet, les systèmes biochimiques sont des systèmes ouverts, qui maintiennent leur structure en dissipant l'énergie en provenance de l'extérieur par des mécanismes complexes dont il reste encore beaucoup à comprendre. Lors de la construction de modèles aux propriétés émergentes, il est alors important de tenir rigoureusement compte des sources de non-équilibre, afin de faire la distinction entre relaxation à l'équilibre et comportements de non-équilibre et de quantifier la dissipation d'énergie associée à des conditions stationnaires de non-équilibre spécifiques. Les cellules ont la capacité de percevoir et répondre à des signaux chimiques externes. Cette capacité est désignée sous le terme de transduction du signal, et représente un concept central en biologie cellulaire. Comme pour les autres processus biochimiques, la transduction du signal repose sur des réseaux complexes de réactions chimiques, impliquant principalement des enzymes distribuées dans différents compartiments biologiques, en particulier l'environnement extracellulaire, le cytoplasme et la membrane plasmique. Il existe deux superfamilles proches de protéines jouant un rôle fondamental dans la transduction du signal : les GTPase et les Récepteurs Couplés aux Protéines G (RCPG). Nous étudions des modèles de réseaux de GTPases de complexité croissante, et présentons un modèle cinétique de signalisation par RCPG. Chaque réseau est construit de manière thermodynamiquement consistante. La réversibilité microscopique est imposée via des contraintes sur les ensembles de constantes d'équilibre. Nous présentons une méthode pour construire des ensembles complexes de contraintes par une approche modulaire. En utilisant une approche informatique, nous étudions la dynamique des différents systèmes, soulignant leurs différents régimes, correspondant à des régions caractéristiques de leur espace de paramètres cinétiques associés avec des comportements biologiques spécifiques. Dans le cas du modèle RCPG, de taille conséquente, nous avons été capables de réduire l'ensemble de ses paramètres cinétiques à trois paramètres libres spécifiques, et avons étudiés les régimes correspondants. L'étude de ces systèmes biologiques requiert des approches informatiques reposant sur des outils dédiés. Durant la thèse, nous avons développé un tel outil, que nous avons dénommé STRenGHTS. Il s'agit d'un package Python open-source qui offre une interface pour la modélisation et la simulation de systèmes biologiques de réaction-diffusion dans des environnements complexes. Les systèmes

sont décrits comme des espaces discrets dans lesquels les espèces peuvent réagir et diffuser. Chaque nœud de réaction individuel est appelé une “cellule”. Les compartiments biologiques sont modélisés en définissant différents types de cellules, qui sont désignées sous le terme d’environnements de réaction-diffusion. Des chémostats peuvent également être définis, localement ou globalement, pour imposer des conditions de non-équilibre. Le logiciel propose une interface générique pour les algorithmes de simulation, qui est utilisée pour implémenter à la fois des moteurs d’évolution temporelle déterministes et stochastiques. Dans cette thèse, nous présentons le logiciel, ainsi que le cadre théorique correspondant, accompagné de quelques exemples d’applications choisis à des fins d’illustration.

► *Thèse soutenue par* : **Joyce GHANTOUS**

► *Sous la direction de* : Fabien Caubet et Charles Pierre (université de Pau et des Pays de l’Adour).

---

**Prise en compte de conditions aux bords d’ordre élevé et analyse numérique de problèmes de diffusion sur maillages courbes à l’aide d’éléments finis d’ordre élevé**

*Soutenu le 23 septembre 2024  
Université de Pau et des Pays de l’Adour*

---

**Résumé :**

Cette thèse porte sur l’analyse numérique d’équations aux dérivées partielles impliquant des conditions de bord d’ordre élevé de type Ventcel en utilisant la méthode des éléments finis. Afin de définir l’opérateur de Laplace-Beltrami intervenant dans la condition au bord, le domaine est supposé lisse : ainsi, le domaine maillé ne correspond pas au domaine physique initial, entraînant une erreur géométrique. Nous utilisons alors des maillages courbes afin de réduire cette erreur et définissons un opérateur de lift permettant de comparer la solution exacte définie sur le domaine initial et la solution approchée définie sur le domaine discrétisé. Nous obtenons alors des estimations d’erreur a priori, exprimées en termes d’erreur d’approximation par éléments finis et d’erreur géométrique. Nous étudions des problèmes avec termes sources et des problèmes spectraux ainsi que des équations scalaires et les équations vectorielles de l’élasticité linéaire. Des expériences numériques en 2D et 3D valident et complètent ces résultats théoriques, soulignant en particulier l’optimalité des erreurs obtenues. Ces simulations permettent également d’identifier une super-convergence des erreurs sur les maillages quadratiques.

► *Thèse soutenue par* : **Margaux LEROY**

► *Sous la direction de* : Laurent Doyen et Christophe Bérenguer (université Grenoble Alpes).

---

**Dégradation en présence de différents types de maintenances :  
modélisation, inférence et prise de décision**

*Soutenue le 12 juin 2024*

*Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Grenoble Alpes*

---

**Résumé :**

Ce doctorat fait partie d'un projet de l'équipe action AMORE MIO financé par PERSYVAL-lab, impliquant à la fois le LJK et le GIPSA-lab. Dans le cadre de ce travail, nous considérons les équipements technologiques et industriels, ou les composants structurels (par exemple, les digues, les barrages, les ponts, etc.) qui sont sujets à la dégradation en raison de l'usure intrinsèque, de l'utilisation imposée par les conditions de fonctionnement ou de l'exposition aux facteurs environnementaux. Pour ces équipements industriels réparables, un enjeu consiste à maintenir le système en état de fonctionnement en fonction des contraintes de sécurité, de disponibilité et de coût. Les actions de maintenance peuvent avoir des efficacités différentes et diverses politiques d'inspection des niveaux de dégradation peuvent être envisagées. Afin d'appréhender cette dégradation au cours du temps et anticiper les éventuelles pannes, deux modèles probabilistes sont proposés. Pour chacun de ces deux modèles, la dégradation est décrite par un processus de Wiener avec drift, et l'effet de la maintenance est de type  $ARD_1$  (réduction arithmétique de la dégradation). L'inférence statistique est étudiée suivant divers schémas d'observation. À partir de l'un de ces modèles de dégradation, la prise de décision est explorée à travers deux politiques d'inspection. Le coût de maintenance est évalué et les stratégies de maintenance sont optimisées. Les politiques de maintenance optimales obtenues sont ensuite comparées, notamment suivant la politique d'inspection choisie.

**Mots-clés** : Maintenance modeling and optimization, Statistical estimation, Deterioration modeling.

► *Thèse soutenue par* : **Jessie LEVILLAIN**

► *Sous la direction de* : François Alouges et Aline Lefebvre-Lepot (CMAP, École polytechnique).

---

**Modèles de filaments pour la natation à l'échelle microscopique**

*Soutenue le 27 septembre 2024*

*CMAP, École polytechnique*

---

**Résumé :**

Les mathématiques associées à la natation à l'échelle microscopique constituent un domaine de recherche de plus en plus actif depuis une quinzaine d'années, avec de nombreuses applications en biologie et en physique. En effet, les micro-organismes se déplaçant dans l'eau jouent un rôle crucial dans l'origine et le maintien de la vie, et les principes physiques régissant leurs mouvements diffèrent grandement de ceux qui gouvernent la natation humaine. Suite à l'article fondateur de Taylor en 1951, Wilczek, Purcell puis Montgomery se sont intéressés aux mécanismes de nage en l'absence d'inertie d'un point de vue mathématique. Les recherches dans ce domaine peuvent aussi être appliquées à la conception de micro sous-marins, ouvrant la voie à des applications innovantes en médecine, comme la chirurgie non-invasive.

Cette thèse porte sur l'étude de tels micro-organismes, dans un contexte où les forces inertielles sont négligeables par rapport aux forces visqueuses dans le fluide environnant, phénomène caractérisé par un faible nombre de Reynolds.

Les deux premières parties traitent de modèles mathématiques de nageurs, composés de bras actifs, sphères, et ressorts passifs. Ces modèles permettent de contourner le théorème de la coquille Saint-Jacques de Purcell, qui garantit qu'un nageur dont la brassée est un mouvement réciproque ne pourra jamais se déplacer, car il revient toujours à sa position initiale en l'absence d'inertie. Le premier modèle conçu au cours de cette thèse est un nageur à quatre sphères avec deux bras élastiques passifs. Faire varier la fréquence d'oscillation du bras actif permet de changer le signe du déplacement du nageur, rendant le système contrôlable, tout en n'ayant qu'un seul degré de liberté actif. Le modèle étudié dans le deuxième chapitre comporte, quant à lui, un grand nombre de ressorts. Un modèle limite de ce nageur où le nombre de ressorts tend vers l'infini a ensuite été considéré, transformant le nageur en une queue élastique se compressant et s'étendant unidimensionnellement. Au cours du troisième chapitre, on présente une preuve de la convergence et du caractère bien posé d'un modèle discret de micro-filament élastique à bas nombre de Reynolds. Ce modèle en trois dimensions est composé de  $N$  filaments rigides, dont le mouvement est en deux dimensions.

Enfin, dans le dernier chapitre, des modèles des mécanismes d'activation le long d'un flagelle sont présentés. Du point de vue de la biologie, ces mécanismes d'activation sont présents dans le flagelle dans une structure interne, appelée axonème, sous la forme de moteurs moléculaires arrangés en plusieurs rangées. En se basant sur un modèle de ces moteurs issu de la biophysique, deux nouveaux systèmes sont ensuite étudiés. Le premier représente une projection de l'axonème dans laquelle deux rangées de moteurs sont présentes, et est étudié aussi bien théoriquement que numériquement. Le second prend en compte la totalité des rangées de moteurs dans l'axonème, son comportement est illustré par des simulations numériques.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Roméo LEYLEKIAN**
- ▶ *Sous la direction de* : François Hamel et Enea Parini (Aix-Marseille Université).

---

### **Des plaques vibrantes : optimisation spectrale pour l'opérateur bilaplacien**

*Soutenue le 19 septembre 2024  
Institut de Mathématiques de Marseille, Aix-Marseille Université*

---

#### **Résumé :**

La fréquence principale d'une plaque vibrante serrée aux extrémités peut être modélisée d'un point de vue mathématique par la première valeur propre du bilaplacien avec conditions au bord de Dirichlet. En 1877, Rayleigh conjectura qu'à aire prescrite, la plaque vibrante de plus petite fréquence principale est circulaire. Formellement, cela revient à dire que la boule minimise la première valeur propre du bilaplacien de Dirichlet sous contrainte de volume. En 1995, Nadirashvili démontra l'assertion en dimension 2, puis Ashbaugh et Benguria la démontrèrent en dimensions 2 et 3. Depuis lors, la conjecture de Rayleigh est restée ouverte en dimension  $d \geq 4$ . Dans cette thèse, nous explorons la question sous plusieurs angles. Entre autres, nous montrons que le problème de minimisation de la première valeur propre du bilaplacien est bien posé jusqu'en dimension 8. Nous formulons également des conditions suffisantes de nature variée permettant de démontrer la conjecture. D'autre part, dans la perspective de nouvelles stratégies de preuves, nous exhibons des formules inédites pour la première valeur propre. Enfin, nous étudions des quantités reliées à la première valeur propre, telles que la rigidité torsionnelle biharmonique ou encore la première valeur propre du  $p$ -bilaplacien.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Antoine de MATHELIN**
- ▶ *Sous la direction de* : Mathilde Mougéot (ENSIEE, ENS Paris-Saclay) et Nicolas Vayatis (ENS Paris-Saclay).

---

### **Towards reliable machine learning under domain shift and costly labeling, with applications to engineering design**

*Soutenue le 9 octobre 2024  
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay*

---

#### **Résumé :**

In engineering design, using machine learning models to find innovative products poses major challenges. The effectiveness of machine learning models has been demonstrated when trained and used on large datasets of independently identically distributed observations. However, in the engineering design context, models are

often deployed on shifted distributions, with few labeled data available. Moreover, the reliability of the model is strongly required as trusting wrong predictions can lead to dramatic consequences. This thesis tackles the challenge of providing a reliable machine learning model under the main engineering design constraints : domain shift and costly labeling. By leveraging novel contributions from domain adaptation, active learning and uncertainty quantification techniques, we propose a generic approach towards this goal. Moreover, the contributions of this thesis to the three aforementioned thematics are impactful beyond the context of engineering design. They allow for achieving similar or better performances with less data and reduced computation time compared to standard approaches. Additionally, the thesis delivers accessible and user-friendly tools through a domain adaptation and transfer learning library called Adapt.

► *Thèse soutenue par* : **Baptiste MAUCOURT**

► *Sous la direction de* : Léo Girardin (CNRS), Thomas Lepoutre (Inria), Bastien Boussau (CNRS).

---

**Contrôle agro-écologique d'un système parasite-hôte spatio-temporel.  
Prévention de la propagation et optimisation de la récolte**

*Soutenue le 11 juillet 2024*

*Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard de Lyon*

---

**Résumé :**

J'apporte tout d'abord un contexte biologique pour le système agroécologique de la betterave sucrière et présente le modèle utilisé dans ma thèse. J'explore ensuite les aspects d'un problème d'optimisation découlant de notre modèle, qui implique un système différentiel parabolique-ordinaire semi-linéaire et une quantité appelée récolte. En utilisant des sous-solutions et des sur-solutions, je relie la stabilité linéaire et non linéaire d'un certain équilibre et je dérive des estimations des solutions. J'étudie une stratégie d'homogénéisation spatiale d'un paramètre qui optimise trois critères : la valeur propre principale de l'opérateur du système linéarisé, la récolte linéarisée lorsque les conditions initiales des pucerons infectés sont bien choisies, et la vitesse de propagation de l'épidémie. Je propose des conjectures concernant les vitesses de propagation des solutions en cas d'invasion de ravageurs dans le champ. J'examine également un exemple d'optimiseur de rendement linéarisé pour une classe spécifique de conditions initiales : les fonctions symétriques et radialement strictement décroissantes. De nombreux aspects de cette présentation sont appuyés par des simulations numériques.

► *Thèse soutenue par* : Khoa NGUYEN

► *Sous la direction de* : Mathilde Mougeot (ENSIEE, ENS Paris Saclay), Christophe Millet (ENS Paris-Saclay) et Thibault Dairy (Michelin, ENS Paris-Saclay).

---

**Development and assessment of physics-informed deep learning methods : towards multiphysics simulation in industrial contexts**

*Soutenue le 20 septembre 2024  
Centre Borelli, ENS Paris-Saclay*

---

**Résumé :**

Physics-informed deep learning approaches have gained huge attention in various engineering fields for the last few years thanks to the capability of incorporating physical knowledge, which is often represented using Partial Differential Equations (PDEs), into deep learning models. The main idea of these approaches is to employ neural networks as approximators and integrate the physical constraints of the systems either into the cost function or into the network architecture. Among these approaches, Physics-Informed Neural Networks (PINNs) rise as an attractive and remarkable scheme of solving forward and inverse ill-posed PDEs problems using only a moderate amount of, or even without supervised data. In this thesis, we are interested in investigating PINNs to solve complex multiphysics problems. The first part of this thesis focuses on improving PINNs accuracy using adaptive strategies during the training on the unsupervised points (or collocation points) of PINNs. We propose a novel approach that is able to infer the best location of the training points based on the PDEs residuals. Different from other existing approaches, our proposed method aims to capture not only the global extrema but also the local extrema of the PDEs residuals, thus improving the accuracy and reducing the training time. We later demonstrate the effectiveness of our proposed method to improve PINNs accuracy in multiphysics fluid mechanics problems with physical couplings relevant to industrial contexts. In these practical scenarios, we encounter realistic test cases, including the rubber calendaring process used in tire manufacturing and the interactions between boundary layers and mountains in atmospheric modeling. Through these applications, PINNs with our enhanced approach demonstrate their great capability of inferring the hidden physics from local measurements and identifying the unknown PDEs parameters. These tasks often prove challenging to classical numerical discretization methods. In the second part of the thesis, we investigate the geometry-aware frameworks for PINNs and propose a novel version for the deep energy PINNs-based method, which employs the weak form of the physical system equation and minimizes the loss function based on the potential energy of all considered geometries. It is expected that these geometry-aware frameworks can infer the solution on various shapes of geometry using only one trained model. We present the performance of our proposed approach to solve structural solid mechanics problems using different techniques for geometric representation and encoding. The effectiveness of our approach is also

demonstrated in a complex hyperelastic problem related to an industrial toy tire loading simulation test case, where the model is successfully inferring the displacements of different tires after loading. The performance of the geometry-aware PINNs framework is later illustrated in a fluid mechanics problem involving the interactions between boundary layers and mountains on various mountain shapes. Lastly, we develop an open-source package and tutorials for PINNs that facilitate PINNs implementation. We illustrate the use of our proposed package in various tasks, including forward with either strong or weak formulations, inverse, ill-posed problems, and geometry-aware modeling. Besides that, difference enhancement techniques, such as the adaptive activation functions, adaptive training points, and adaptive weights in the loss function, are also implemented in the package. We note again that all the proposed approaches developed during this thesis have undergone various test cases including the realistic applications at Michelin and CEA involving complex physical problems.

► *Thèse soutenue par* : **Abdelmouksit SAGUENI**

► *Sous la direction de* : Gian Paolo Leonardi (université de Trente), Simon Masnou (université Claude Bernard de Lyon)

---

**Flots approchés de courbure moyenne pour les varifolds  
et flots de Brakke limites**

*Soutenue le 18 juillet 2024*

*Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard de Lyon*

---

**Résumé :**

Cette thèse porte sur la construction par approximation de flots de courbure moyenne pour des données initiales très générales, dans l'esprit des travaux de Brakke et Kim & Tonegawa qui utilisent la théorie des varifolds. Nous construisons, pour des varifolds généraux et par itérations de poussées en avant, un flot approché de courbure moyenne discret en temps, dépendant à la fois d'un pas de temps et d'un paramètre d'approximation donnés. Nous montrons la convergence, lorsque le pas de temps tend vers 0, de ce flot discret vers un flot limite unique, appelé flot approché de courbure moyenne. Un intérêt de notre approche est sa généralité puisqu'elle fournit une notion approchée de flot de courbure moyenne pour des structures très générales de dimension et codimension quelconques, que ce soit des surfaces continues au sens classique ou des nuages de points. En couplant le flot approché obtenu avec la mesure temporelle canonique, nous prouvons la convergence, lorsque le paramètre d'approximation tend vers 0, vers une mesure spatio-temporelle limite dont la courbure moyenne généralisée est bornée. Sous une hypothèse supplémentaire de rectifiabilité, nous prouvons que cette mesure limite est un flot de Brakke spatio-temporel. Enfin, nous étudions en codimension 1

ses propriétés de non-trivialité et de coïncidence avec les flots réguliers de courbure moyenne.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Sonia VELASCO**
- ▶ *Sous la direction de* : Ellen Saada (MAP5, CNRS), Mustapha Mourragui (LMRS).

---

### **Systèmes de particules en interaction et équation de réaction diffusion**

*Soutenue le 19 septembre 2024  
MAP5, Université Paris Cité*

---

#### **Résumé :**

Cette thèse est consacrée à l'étude mathématique de différents types de systèmes de particules en interaction. D'une part, nous étudions plusieurs généralisations du processus de contact qui modélisent divers phénomènes biologiques : la technique de l'insecte stérile, la méthode de stérilité héréditaire, et la propagation de maladies infectieuses. D'autre part, nous nous intéressons au processus d'exclusion symétrique simple (SSEP) en volume fini unidimensionnel en contact avec des réservoirs lents, un modèle fondamental pour l'analyse des mécanismes de diffusion.

En guise d'introduction, nous fournissons quelques éléments de base sur le formalisme des systèmes de particules en interaction.

La première partie de la thèse est liée à l'analyse macroscopique de l'effet des réservoirs lents sur un processus de contact généralisé (modélisant la technique de l'insecte stérile) d'une part, et sur le SSEP, d'autre part.

La deuxième partie de la thèse est liée à l'analyse microscopique d'un modèle de stérilité héréditaire en volume infini d'une part, et à l'analyse des fonctions de corrélation pour plusieurs types de systèmes de particules non conservatifs d'autre part, via l'utilisation de propriétés de dualité.

- ▶ *Thèse soutenue par* : **Julie WENTZEL**
- ▶ *Sous la direction de* : Bruno Martin (université du Littoral Côte d'Opale) et Gérald Tenenbaum (université de Lorraine).

---

### **Fonction d'Erdős-Holley d'argument friable**

*Soutenue le 4 juillet 2024  
LMPA, Université du Littoral Côte d'Opale*

---

#### **Résumé :**

Introduite par Erdős en 1974, puis étudiée par Hooley en 1979, la fonction  $\Delta$  est une fonction arithmétique qui mesure la concentration logarithmique de l'ensemble des diviseurs d'un entier. Elle est définie par la formule

$$\Delta(n) := \sup_{v \in \mathbb{R}} \sum_{\substack{d|n \\ v \leq \log d < v+1}} 1 \quad (n \in \mathbb{N}^*).$$

L'encadrement de son ordre moyen et de son ordre normal ont fait l'objet d'une attention particulière dans la bibliographie, et certains articles très récents ont revisité le sujet.

Dans ce travail, nous obtenons un encadrement de la valeur moyenne de  $\Delta$  sur les entiers friables, autrement dit de la quantité

$$\frac{1}{\Psi(x, y)} \sum_{n \in S(x, y)} \Delta(n),$$

où  $S(x, y)$  désigne le nombre d'entiers  $n$ 'excédant pas  $x$  et dont le plus grand facteur premier  $n$ 'excède pas  $y$ , et  $\Psi(x, y) = |S(x, y)|$ .

► *Thèse soutenue par* : **Pan ZHAO**

► *Sous la direction de* : Julie Josse (PreMeDiCaL, Inria Montpellier) et Antoine Chambaz (MAP5, université Paris Cité).

---

### **Sujets en inférence causale et apprentissage de politiques avec applications à la médecine de précision**

*Soutenue le 4 septembre 2024  
MAP5, Université Paris Cité*

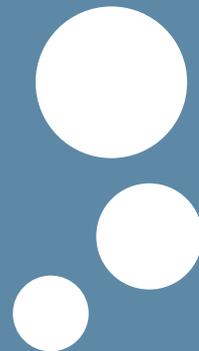
---

#### **Résumé :**

Cette thèse explore des méthodes avancées en inférence causale, en se concentrant sur l'apprentissage des politiques, les variables instrumentales (IV) et la méthode des doubles différences (DiD). Tout d'abord, elle aborde les défis liés aux hypothèses restrictives dans les méthodes IV et DiD, en proposant une approche DiD instrumentée pour les relâcher. La thèse introduit également la recherche de politiques directes pour apprendre des politiques optimales, accompagnées de nouveaux résultats d'identification, ainsi que divers estimateurs garantissant un apprentissage robuste des politiques malgré l'existence de facteurs de confusion non mesurés. Elle présente en outre un cadre d'apprentissage des politiques sans contrainte de positivité, en utilisant des politiques dynamiques, améliorant les effets des interventions incrémentales avec des méthodes d'apprentissage automatique efficaces.

Enfin, elle propose un cadre d'apprentissage par transfert pour les régimes de traitement individualisés dans des populations hétérogènes avec des données de survie, offrant des outils robustes pour des applications pratiques.





par :

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

## DÉCEMBRE 2024

► COLLOQUE "OPTIMAL TRANSPORTATION AND APPLICATIONS"

*du 2 au 6 Décembre 2024, à Pise (Italie)*

<http://www.crm.sns.it/event/531/>

► INTERNATIONAL CONFERENCE : MATHEMATICS AND DECISION

*du 17 au 20 Décembre 2024, à Rabat (Maroc)*

<https://mathematicsanddecision.um6p.ma/>

## JANVIER 2025

► 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VARIATIONAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION

*du 14 au 17 Janvier 2024, à Santiago (Chili)*

<https://eventos.cmm.uchile.cl/lopezcerda2025/>

## AVRIL 2025

► INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSITIVITY ANALYSIS OF MODEL OUTPUT (SAMO) AND ITS SATELLITE EVENT, THE RT-UQ PHD DAY

---

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

*du 22 au 25 Avril 2025, à Grenoble*

<https://samo2025.sciencesconf.org/>

## JUILLET 2025

► INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL CONTACT MECHANICS (ICCCM 2025)

*du 2 au 4 Juillet 2025, à Munich (Allemagne)*

<https://www.unibw.de/icccm2025>

# Correspondantes et correspondants locaux

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

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

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

**Avignon** *Céline Lacaux*  
Dépt de Mathématiques  
Univ. d'Avignon  
33 rue Louis Pasteur  
84000 Avignon  
  
celine.lacaux@univ-avignon.fr

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Compiègne** *Antoine Zurek*  
 Laboratoire de Mathématiques  
 Appliquées de Compiègne  
 Univ. de Technologie, BP 20529  
 60205 Compiègne CEDEX  
 antoine.zurek@utc.fr

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

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

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

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

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

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

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

**Evry Génopole** *Laurent Denis*  
 Dpt de Math.  
 Univ. du Maine  
 72085 Le Mans  
 ☎ 01 64 85 34 98  
 ldenis@univ-lemans.fr

**Franche-Comté** *Nabile Boussaid*

Lab. de mathématiques  
UFR Sciences et Techniques  
16 route de Gray  
25030 Besançon CEDEX  
☎ 03 81 66 63 37 – 📠 03 81 66 66 23  
boussaid.nabile@gmail.com

**Grenoble** *Brigitte Bidegaray*

Laboratoire Jean Kuntzmann,  
Université Grenoble Alpes,  
Bâtiment IMAG, CS 40700,  
38058 GRENOBLE CEDEX 9  
☎ 04 76 57 46 10 – 📠 04 76 63 12 63  
Brigitte.Bidegaray@univ-grenoble-  
alpes.fr

**Israël** *Ely Merzbach*

Dept of Mathematics and Computer  
Science  
Bar Ilan University Ramat Gan.  
Israel 52900  
☎ + 972 3 5318407/8 – 📠 + 972 3 5353325  
merzbach@macs.biu.ac.il

**La Réunion** *Philippe Charton*

Dép. de Mathématiques et Informatique  
IREMIA  
Univ. de La Réunion  
BP 7151  
97715 Saint-Denis Messag CEDEX 9  
☎ 02 62 93 82 81 – 📠 02 62 93 82 60  
Philippe.Charton@univ-reunion.fr

**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*

IMAG,  
Univ. Montpellier  
Pl. Eugène Bataillon  
34090 Montpellier  
☎ 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 Rennes1,  
 Campus Beaulieu, 35042 Rennes  
 ☎ 02 23 23 58 64  
 Roger.Lewandowski@univ-rennes1.fr

**Rouen** *Jean-Baptiste Bardet*  
 LMRS  
 Univ. de Rouen  
 av. de l'Université - BP 12  
 76801 Saint-Étienne-du-Rouvray  
 ☎ 02 32 95 52 34 – 📠 02 32 95 52 86  
 Jean-Baptiste.Bardet@univ-rouen.fr

**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

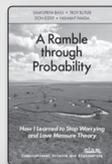
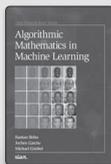
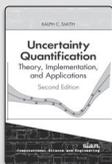
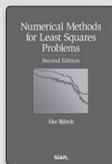
**Troyes** *Florian Blachère*  
Institut Charles Delaunay  
Université de Technologie de Troyes  
12, rue Marie Curie  
CS 42060 - 10004 TROYES CEDEX  
florian.blachere@utt.fr

**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



# New books from SIAM



## Numerical Methods for Least Squares Problems, Second Edition

Åke Björck

The first edition was the leading reference on the topic for many years. The updated second edition stands out compared to other books on this subject because it provides an in-depth and up-to-date treatment of direct and iterative methods for solving different types of least squares problems and for computing the singular value decomposition. It also is unique because it covers generalized, constrained, and nonlinear least squares problems as well as partial least squares and regularization methods for discrete ill-posed problems. The bibliography of over 1,100 historical and recent references provides a comprehensive survey of past and present research in the field.

2024 • xiv + 494 pages • Softcover • 9781611977943 • List \$89.00 • SIAM Member \$62.30 • OT196

## Uncertainty Quantification: Theory, Implementation, and Applications, Second Edition

Ralph C. Smith

Expanded and reorganized, the second edition includes advances in the field and provides a comprehensive sensitivity analysis and uncertainty quantification framework for models from science and engineering. It contains new chapters on random field representations, observation models, parameter identifiability and influence, active subspace analysis, and statistical surrogate models, and a completely revised chapter on local sensitivity analysis. Other updates to the second edition are the inclusion of over 100 exercises and many new examples — several of which include data — and UQ Crimes listed throughout the text to identify common misconceptions and guide readers entering the field.

2024 • xxiv + 546 pages • Softcover • 9781611977837 • List \$89.00 • SIAM Member \$62.30 • CS30

## Algorithmic Mathematics in Machine Learning

Bastian Bohn, Jochen Garcke, and Michael Griebel

This unique book explores several well-known machine learning and data analysis algorithms from a mathematical and programming perspective. The authors present machine learning methods, review the underlying mathematics, and provide programming exercises to deepen the reader's understanding. They provide new terminology and background information on mathematical concepts, as well as exercises, in "info-boxes" throughout the text. Application areas are accompanied by exercises that explore the unique characteristics of real-world data sets (e.g., image data for pedestrian detection, biological cell data).

2024 • xii + 25 pages • Softcover • 9781611977875 • List \$64.00 • SIAM Member \$44.80 • DI03

## Machine Learning for Asset Management and Pricing

Henry Schellhorn and Tianmin Kong

This textbook covers the latest advances in machine learning methods for asset management and asset pricing. Recent research in deep learning applied to finance shows that some of the techniques used by asset managers (usually kept confidential) result in better investments than the more standard techniques. Cutting-edge material is integrated with mainstream finance theory and statistical methods to provide a coherent narrative. Coverage includes an original machine learning method for strategic asset allocation; the no-arbitrage theory applied to a wide portfolio of assets as well as other asset management methods; and neural networks and other advanced techniques.

2024 • xxiv + 242 pages • Softcover • 9781611977899 • List \$74.00 • SIAM Member \$51.80 • OT195

## A Ramble through Probability: How I Learned to Stop Worrying and Love Measure Theory

Samopriya Basu, Troy Butler, Don Estep, and Nishant Panda

Measure theory and measure-theoretic probability are fascinating subjects. Proofs describing profound ways to reason lead to results that are frequently startling, beautiful, and useful. Measure theory and probability also play roles in the development of pure and applied mathematics, statistics, engineering, physics, and finance. This book traces an eclectic path through the fundamentals of the topic to make the material accessible to a broad range of students. It brings together the key elements and applications in a unified presentation aimed at developing intuition; contains an extensive collection of examples that illustrate, explain, and apply the theories; and is supplemented with videos containing commentary and explanations of select proofs on an ancillary website.

2024 • xvi + 611 pages • Softcover • 9781611977813 • List \$94.00 • SIAM Member \$65.80 • CS29

## Error Norm Estimation in the Conjugate Gradient Algorithm

Gérard Meurant and Petr Tichy

The conjugate gradient (CG) algorithm is almost always the iterative method of choice for solving linear systems with symmetric positive definite matrices. This book describes and analyzes techniques based on Gauss quadrature rules to cheaply compute bounds on norms of the error. The techniques can be used to derive reliable stopping criteria. How to compute estimates of the smallest and largest eigenvalues during CG iterations is also shown. The algorithms are illustrated by many numerical experiments, and they can be easily incorporated into existing CG codes.

2024 • x + 127 pages • Softcover • 9781611977851 • List \$49.00 • SIAM Member \$34.30 • SL06