

(Lm^B) 25 ans !

Les mathématiques

à Besançon

→ formation
et recherche

Les mathématiques ne sont pas une moindre immensité que la mer.

Nicomachus (1802-1885)

→ sommaire

- 4 Le LmB fête ses 25 ans
- 6 Panorama des mathématiques à Besançon
- 7 La recherche
- 24 Les formations
- 38 Culture mathématique
- 40 L'IREM
- 42 Contacts

Chère Lectrice, Cher Lecteur,

Bienvenue au « Laboratoire de mathématiques de Besançon » ! Nous souhaitons, à travers cette brochure, vous proposer une visite virtuelle de notre laboratoire et présenter un panorama de nos activités. La première brochure est parue en 2013 sous l'initiative de Christian Maire, le directeur de l'époque, et a suscité un vif intérêt. À l'occasion du 25^e anniversaire du LmB, nous publions une nouvelle édition plus complète et enrichie des évolutions et expériences du laboratoire durant ces huit dernières années.

Nous espérons que vous prendrez autant de plaisir à lire ces pages que nous en avons eu à les concevoir. Parcourez cette brochure et partez à la découverte de nos activités et spécificités. Explorez nos différentes spécialités de recherche en mathématiques, leurs ouvertures interdisciplinaires et applications socio-économiques. Découvrez nos formations, de la licence au doctorat, ainsi que leurs débouchés. Enfin, laissez-vous porter par les témoignages de collègues qui partagent leur vision du monde de la recherche.

Nous vous souhaitons une agréable et enrichissante visite.

CHRISTOPHE DELAUNAY,
Directeur du Laboratoire
de mathématiques de Besançon

(Lm^B)
25ans!

Le LmB est un laboratoire de recherche
de l'université de Franche-Comté,
ses deux tutelles sont UBFC,
Université Bourgogne Franche-Comté,
et le CNRS.



Le LmB fête ses 25 ans !



Une brève histoire du LmB

C'est en 1996 qu'est signé le premier contrat d'UMR (Unité Mixte de Recherche), acte de naissance du Laboratoire de mathématiques de Besançon, par ses deux tutelles, l'université de Franche-Comté et le CNRS. Le projet est porté par Eva Bayer qui assure sa direction de 1996 à 1999.

Avant sa création, les mathématiques à l'université de Franche-Comté se répartissent entre deux laboratoires : le Laboratoire de Mathématiques et Mécanique Théorique et le Laboratoire de Calcul Scientifique. Leur fusion en 1996, les réunit sous le nom d'Équipe de Mathématiques de Besançon et en 1997, leurs fonds documentaires sont associés en une même bibliothèque de recherche. Ce n'est qu'en 2000 que le nom actuel de Laboratoire de mathématiques de Besançon est adopté.

Initialement, le laboratoire comporte 4 équipes : *Algèbre et théorie des nombres*, *Analyse non linéaire et analyse*

fonctionnelle, *Analyse numérique et calcul scientifique*, *Probabilités et statistique*. En 2003, l'équipe *Analyse non linéaire et analyse fonctionnelle* se scinde en deux, donnant lieu à la création des équipes *Équations aux dérivées partielles* et *Analyse fonctionnelle*. Cette structure en 5 équipes perdure encore aujourd'hui.

En 25 ans, la taille du laboratoire et son rayonnement se sont significativement accrus. Comptant 30 membres permanents (enseignante·s chercheur·e·s) en 1996, le laboratoire en compte aujourd'hui 50 auxquels s'ajoutent doctorant·e·s, post-doctorant·e·s et professeur·e·s invité·e·s. Grâce à des appels à projets fructueux, de nombreux événements nationaux et internationaux sont organisés chaque année.

→ Chronologie des directeurs / directrices



→ Eva Bayer

Eva Bayer est la première directrice du LmB. Spécialiste d'algèbre et de théorie des nombres, elle fait ses études à l'université de Genève où elle obtient son doctorat en 1978. D'abord chercheuse invitée à l'Institut for Advanced Study, puis professeure invitée à l'IHES, elle rejoint en 1988 l'université de Franche-Comté en tant que chercheuse au CNRS. Depuis 2001, elle est professeure à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.



→ « Nonlinear Partial Differential Equations : An International Conference in Memory of S. N. Kruzhkov », Besançon, 28 juin / 2 juillet 1999

Cette conférence internationale dédiée à la mémoire de Stanislav Nikolaevich Kruzhkov (1936-1997) a réuni plus de 200 spécialistes des EDP, avec une importante participation de l'école russe. Grand mathématicien russe, Kruzhkov avait fait plusieurs séjours de recherche à Besançon dans les cinq dernières années de sa vie. Le colloque a aussi été l'occasion de recevoir Vladimir Kondratiev comme professeur invité au LmB et d'organiser une école d'été Erasmus.

Christian Maire Christian Le Merdy Christophe Delaunay



→ Colloque Louis Bachelier

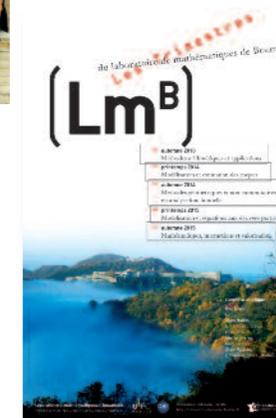
Le premier colloque Bachelier se tient en mars 2000 à Besançon à l'occasion du centenaire de la thèse de Louis Bachelier, professeur à l'université de Franche-Comté de 1927 à 1937. Intitulée "Théorie de la spéculation", cette thèse constitue le fondement des mathématiques financières modernes. Depuis sa première édition, le colloque Bachelier est devenu une conférence internationale de premier plan en mathématiques pour la finance et l'actuariat. Après les éditions de 2005 et 2008, le colloque est devenu annuel en 2010. Sa treizième édition en 2019 a réuni une centaine de participants sur des thèmes allant du trading à haute vitesse à la modélisation du risque systémique.



premier plan en mathématiques pour la finance et l'actuariat. Après les éditions de 2005 et 2008, le colloque est devenu annuel en 2010. Sa treizième édition en 2019 a réuni une centaine de participants sur des thèmes allant du trading à haute vitesse à la modélisation du risque systémique.

→ Les Trimestres du LmB

Les « Trimestres du LmB », déclinés en cinq trimestres thématiques entre 2013 et 2016, ont grandement participé au rayonnement scientifique du laboratoire entre 2013 et 2016. Ce projet scientifique d'ampleur, inscrit dans le programme Investissements d'Avenir de la région Franche-Comté, a permis de renforcer la position internationale des mathématiques franc-comtoises et la reconnaissance de leur excellence. Conférences internationales, invitations de mathématicien·ne·s de premier plan, écoles thématiques en direction des jeunes chercheur·e·s et actions de diffusion du savoir se sont succédées pendant trois ans. Pour faire perdurer cette dynamique, le programme s'est prolongé avec l'organisation des « Conférences du LmB » entre 2017 et 2019.



Panorama des mathématiques à Besançon

Les activités de recherche du LmB

couvrent un large spectre des mathématiques, allant des mathématiques les plus fondamentales aux mathématiques les plus appliquées : algèbre, théorie des nombres, analyse fonctionnelle, analyse numérique, calcul scientifique, équations aux dérivées partielles, probabilités, statistique, sans oublier l'histoire des mathématiques. Les collaborations internationales, les projets interdisciplinaires et les interactions avec le monde socio-économique participent du dynamisme des mathématiques en Franche-Comté. Ce dynamisme se concrétise par de multiples publications, projets et partenariats, aussi bien académiques qu'industriels.

La formation mathématique proposée à Besançon est fortement adossée à la recherche. Les études à l'université de Franche-Comté commencent par une licence qui permet d'asseoir les bases nécessaires à la poursuite d'un master dans une des trois spécialités : *mathématiques générales, mathématiques approfondies et modélisation statistique*. Le *magistère de mathématiques* permet aux étudiant·e·s une initiation à la recherche dès la L3. La *préparation à l'agrégation* atteint un très bon taux de réussite au concours. La *formation doctorale*

permet la poursuite en thèse, qu'elle soit académique ou en entreprise.

La politique d'ouverture et de promotion des mathématiques se traduit par des actions à destination du grand public et des plus jeunes tout au long de l'année : manifestations comme la fête de la science ou les journées des lycéens, interventions d'enseignant·e·s-chercheur·e·s dans les lycées. Ces événements s'appuient sur la présence de l'Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM) dans les locaux du LmB. Cet institut participe activement à la formation des enseignant·e·s du secondaire.



→ Fédération BFC-Mathématiques

La Fédération de Recherche BFC-Mathématiques co-fondée en 2018 par les deux laboratoires de mathématiques de la région (le LmB et son homologue dijonnais, l'Institut de Mathématiques de Bourgogne (IMB)), contribue aux collaborations scientifiques et à l'établissement de projets communs, et œuvre à la promotion des mathématiques à l'échelle de la région. <http://bfcm.math.cnrs.fr/>

La recherche

Dynamisme et échanges au quotidien

L'activité du LmB repose sur ses cinq équipes de recherche : *Algèbre et théorie des nombres, Analyse fonctionnelle, Analyse numérique et calcul scientifique, Équations aux dérivées partielles, Probabilités et statistique*. Ces équipes se retrouvent chaque semaine dans le cadre d'une dizaine de séminaires et groupes de travail. Ces activités créent une véritable synergie entre les membres du laboratoire et favorisent l'intégration de nouveaux collaborateurs. Le LmB voit soutenir chaque année plusieurs thèses et habilitations à diriger des recherches (HDR). Ces événements représentent des moments importants de la vie du laboratoire. Le *colloquium* permet de se retrouver régulièrement pour des conférences données par des orateurs extérieurs prestigieux et ouvertes à l'ensemble du public mathématicien de Franche-Comté.

Mobilité et ouverture

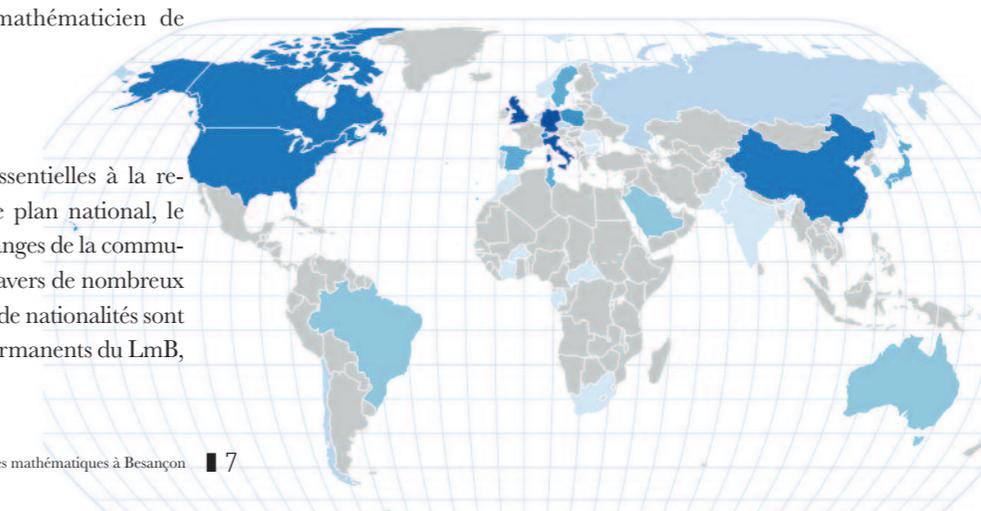
La mobilité et l'ouverture sont essentielles à la recherche en mathématique. Sur le plan national, le LmB participe activement aux échanges de la communauté mathématique française à travers de nombreux réseaux de recherche. Une dizaine de nationalités sont représentées parmi les membres permanents du LmB,



→ Les « Conférences du LmB »

Projet financé par la Région Bourgogne Franche-Comté, les « Conférences du LmB » ont contribué à la notoriété du LmB. Pendant 3 ans (2017-19), elles ont permis l'organisation d'événements scientifiques de grande ampleur tels que des colloques internationaux ou des écoles thématiques à destination des jeunes chercheur·e·s du monde entier. Elles ont également été l'occasion d'actions de promotion des mathématiques en direction du monde socio-économique et du grand public.

▼ Le LmB collabore avec 40 pays à travers le monde



Le LmB en quelques chiffres

6623	numéro d'UMR (Unité Mixte de recherche)
3	services d'appui à la recherche
5	équipes de recherche
53	membres permanents
101	membres au total
16	habilitations à diriger des recherches soutenues*
68	thèses soutenues*
111	écoles ou conférences organisées à Besançon*
297	communications en tant que conférencier invité**
429	publications dans des revues ou actes de conférences avec comités de lecture**

* période 2010-2020

** période 2010-2015

Interdisciplinarité et ouverture au monde socio-économique

Les maths sont impliquées dans 15% du PIB français et 9% des emplois selon l'étude sur l'impact socio-économique des mathématiques en France réalisée par l'AMIES* en 2015. La physique, la biologie, les sciences de l'ingénieur, les sciences sociales, l'industrie et le monde de l'entreprise regorgent de mathématiques plus ou moins explicites.

Le LmB est pleinement engagé dans les recherches interdisciplinaires et les interactions avec le monde socio-économique, sources d'ouverture et de questions originales pour le mathématicien, mais aussi de satisfaction devant les retombées de son travail hors du champ immédiat des mathématiques.

Le séminaire interdisciplinaire du LmB offre un point de contact aisé entre le laboratoire et ses partenaires académiques et industriels. Il reçoit régulièrement des non-mathématiciens venant présenter leurs problèmes et constitue le point de départ de nouvelles collaborations.

En 2017, le LmB rejoint le réseau MSO (Modélisation Simulation Optimisation) qui facilite les interactions et les transferts de compétences entre mathématiques et entreprises.

* Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société

→ MSO BFC

Le LmB a cofondé avec l'IMB (Institut de Mathématiques de Bourgogne), le MSO BFC, nœud du réseau des maisons de la Modélisation, de la Simulation et de l'Optimisation (MSO) en Bourgogne-Franche-Comté. Au niveau national, le réseau compte actuellement 13 membres, il bénéficie du soutien du CNRS et de l'Inria et est animé par AMIES. <http://mso-bfc.math.cnrs.fr/>

► Modéliser l'évolution de la population de campagnols sur le territoire jurassien

En collaboration avec le laboratoire Chrono-Environnement et l'institut Femto-ST de l'université de Franche-Comté, des chercheurs des équipes *Équations aux dérivées partielles* et *Analyse numérique calcul scientifique* développent de nouveaux modèles macroscopiques pour l'évolution de la population de campagnols sur le territoire jurassien. Ces modèles devraient permettre d'expliquer des phénomènes de cyclicité dans la dynamique, en particulier l'apparition et la disparition de colonies, ainsi que les relations entre mouvement de population et relief du terrain.



► Développer des algorithmes d'analyse d'images hyperspectrales

Dans le cadre d'un partenariat industriel et d'une thèse CIFRE*, des chercheurs de l'équipe *Probabilités et statistique* ont collaboré avec l'entreprise bisontine Digital surf, spécialiste du développement de logiciels d'imagerie et d'analyse des surfaces. La thèse a porté sur l'analyse des images hyperspectrales issues de la microscopie. Ces cubes de données en 3 dimensions sont obtenus comme la superposition d'images pour différentes longueurs d'onde. La thèse a permis de proposer de nouveaux algorithmes de clustering permettant de segmenter la surface en régions homogènes.

* Convention Industrielle de Formation par la Recherche

► Modéliser la délivrance de principes actifs thérapeutiques dans les tissus biologiques

La méthode CED (Convection Enhanced Delivery) permet de déposer précisément des actifs thérapeutiques dans les tissus biologiques. En collaboration avec le laboratoire Micro et Nanomédecines Biomimétiques de l'université d'Angers, des chercheurs de l'équipe *Analyse numérique et calcul scientifique* s'intéressent à la modélisation de la méthode CED afin de mieux comprendre les modèles mathématiques et leurs discrétisations ainsi que la géométrie complexe et multi-échelle du domaine de calcul. Concernant les applications médicales, l'objectif à long terme est de fournir des outils de simulation permettant l'optimisation d'une stratégie thérapeutique pour traiter les tumeurs cérébrales de type glioblastome de grade IV.



► Analyser les données de la sécurité routière dans la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon

En partenariat avec l'État-Major de la Gendarmerie Nationale à Besançon, des chercheurs de l'équipe *Probabilités et statistique* analysent les données de la sécurité routière et des accidents dans la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon. Une thèse sur le sujet est en cours avec trois objectifs principaux : établir une cartographie spatiale et temporelle des accidents et des facteurs de risque ; évaluer l'efficacité des actions menées par la Gendarmerie Nationale ; développer des outils de prédiction et d'aide à la décision grâce aux techniques modernes d'apprentissage statistique et machine learning. Cette thèse est financée par la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon.

→ INSMI

L'Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions est l'initiateur de rattachement du LmB au sein du CNRS. À travers ses nombreuses actions (appels à projets, Portail Math...) et réseaux (Groupements de Recherche, Mathrice, Réseau National des Bibliothèques de Mathématiques...), l'INSMI structure et soutient l'ensemble des mathématiques françaises.

GENEVIÈVE DUSSON

> La recherche, terrain de jeu pour la créativité



« Ce qui me plaît dans la recherche, c'est la possibilité de s'immerger totalement dans un problème et d'explorer différentes pistes pour trouver ou même construire un bon cadre permettant de le résoudre. »

$$\begin{aligned}
 y_0 &= r_0 \cos \varphi & \varphi &= \cos^{-1} \frac{x_0}{r_0} \\
 y_1 &= \sqrt{r_1^2 - x_0^2} & x_0 &= r_0 \cdot \sin \varphi \\
 &= \sqrt{r_1^2 - r_0^2 \sin^2 \varphi} & k &= \frac{r_1}{r_0} \\
 &= r_0 \sqrt{k^2 - \sin^2 \varphi} \\
 y_p &= y_0 + y_1 \\
 y_p &= r_0 \left(\cos \varphi + \sqrt{k^2 - \sin^2 \varphi} \right) \\
 z &= k^2 - \sin^2 \varphi \\
 \cos \varphi \left(1 + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{z}} \right) &+ \sin \varphi \left(-\frac{\sin \varphi \cdot \sqrt{z}}{z} + 2 \sin \varphi \cdot \frac{\cos \varphi}{z \sqrt{z}} \right) \\
 \cos \varphi \left(1 + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{z}} \right) &+ \sin^2 \varphi \left(-\frac{\sqrt{z}}{z} + \frac{2 \cos^2 \varphi}{z \sqrt{z}} \right) \\
 \cos \varphi \left(1 + \frac{\cos \varphi}{\sqrt{z}} \right) &+ \sin^2 \varphi \left(\frac{\cos^2 \varphi - z}{z \sqrt{z}} \right) \quad \text{mit } z = k^2 - \sin^2 \varphi
 \end{aligned}$$

Geneviève Dusson est chargée de recherche CNRS. Elle doit son remarquable parcours scientifique à sa détermination mais aussi aux opportunités qui lui ont été offertes, et qu'elle a su saisir. Tout a commencé par un attrait fort pour les sciences dites dures qui oriente Geneviève en classe préparatoire, après un baccalauréat scientifique option mathématiques. Son objectif ? Apprendre et pratiquer les mathématiques et la physique à haut niveau. Elle intègre par la suite une école d'ingénieur. Les deux premières années passées à l'École Centrale de Paris attisent son goût pour la recherche et font naître en elle la volonté d'explorer cette voie. « Trouver de bons problèmes, développer des stratégies pour les résoudre dans un contexte créatif et peu répétitif » la motive tout particulièrement. Mais Geneviève hésite encore entre secteur public et privé. C'est pourquoi, au cours de son année de césure, elle effectue deux stages qui lui permettent d'expérimenter la recherche publique, menée au sein d'un laboratoire de recherche de mathématiques, et la recherche privée, en entreprise, spécialisée dans les énergies renouvelables. « Mon stage en recherche publique s'est très bien passé ; mon encadrant m'a proposé une bourse pour financer mon master 2 en Mathématiques, que j'ai réalisé en parallèle de ma 3^{ème} année en école d'ingénieur. » Elle effectue ensuite son stage de fin d'études mais aussi sa thèse... avec ce même encadrant ! Parce que le sujet - accroître la fiabilité et l'efficacité des simulations moléculaires grâce aux mathématiques - l'intéresse vraiment. « En chimie computationnelle, les problèmes sont passionnants car ils

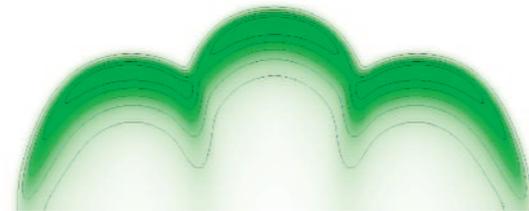
font appel à différents domaines des mathématiques. De plus, il y a une vraie interdisciplinarité, et des collaborations possibles avec de nombreux scientifiques : mathématicien-ne-s bien sûr, mais aussi chimistes, physicien-ne-s et ingénieur-e-s. » Après sa thèse, elle réalise un contrat post-doctoral en Angleterre d'environ deux ans : « Au Royaume-Uni, les postdocs sont souvent assez longs et permettent de vraiment approfondir une thématique donnée. Cela étant, la France offre un avantage considérable : les jeunes chercheur-e-s, en particulier en maths, sont recruté-e-s sur des postes permanents assez rapidement à l'issue de leur thèse. » Geneviève souhaite pouvoir se projeter dans sa recherche à plus long terme et c'est pourquoi, elle choisit de revenir en France. Elle postule alors à plusieurs offres afin de multiplier ses chances. Le *fellowship* ISITE-BFC (PIA* coordonné par UBFC) qu'elle obtient grâce à son brillant parcours la conduit au Laboratoire de mathématiques de Besançon, qu'elle intègre d'abord en tant que *Tenure Track*, puis, après concours, en tant que chargée de recherche CNRS. La recherche qu'elle y mène, sur les problèmes de simulations moléculaires, s'inscrit dans la continuité naturelle de ses précédents travaux. En parallèle, elle enseigne auprès des étudiant-e-s de master 2 de Besançon. « J'aime enseigner, et ainsi contribuer à la formation des prochaines générations de scientifiques, tout en maintenant un équilibre avec mes recherches. » Geneviève Dusson est formelle. Pour mener à bien une carrière en recherche « il faut être motivé-e, approfondir les sujets qui nous passionnent mais aussi savoir repérer les opportunités et ne pas avoir peur de les saisir. »

* Programme d'Investissements d'Avenir

Équipe Analyse numérique et calcul scientifique ANCS

La simulation de phénomènes complexes, qu'ils soient physiques, chimiques, biologiques ou même sociaux est un enjeu important. Les modèles prennent souvent la forme d'équations aux dérivées partielles qu'on ne sait pas résoudre explicitement. Les chercheurs de l'équipe Analyse numérique et calcul scientifique travaillent d'abord à traduire ces équations en schémas numériques qui les représentent sur un nombre fini de points de l'espace/temps et qui servent de base aux codes de calcul. Les connaissances en analyse mathématique et en algorithmique leur permettent d'optimiser ces codes.

À titre d'exemple, les équations de la mécanique quantique qui décrivent la matière à l'échelle moléculaire, nécessitent plusieurs approximations pour calculer une solution approchée. Les travaux des chercheurs de l'équipe ANCS permettent de quantifier différentes erreurs d'approximation (provenant de la discrétisation, de l'arrêt de l'algorithme itératif de résolution, etc.) et ainsi de certifier le résultat numérique, en complétant la valeur de l'observable par des barres d'erreur garanties. La connaissance de ces erreurs permet d'adapter les paramètres de la simulation de manière optimale, et de minimiser le coût

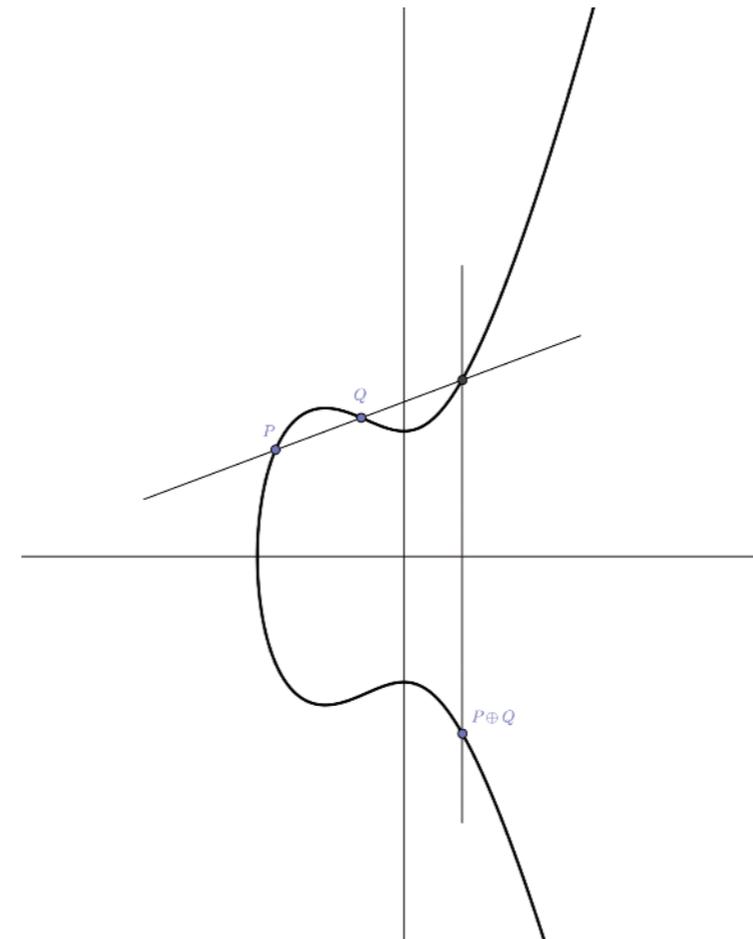


▲ Distribution spatiale en deux dimensions d'une culture de microalgues utilisées pour la synthèse de biocarburants.

de calcul nécessaire pour atteindre la précision souhaitée.

Parmi les sujets également abordés dans cette équipe, on peut citer la modélisation d'écoulements (par exemple, dans une pile à combustible), la modélisation du trafic routier, les simulations en biologie et en écologie (agrégation de cellules, évolution d'une population de bactéries ou d'animaux, interaction du microbiote intestinal avec son environnement fluide, etc.). À cela s'ajoute la recherche plus en amont, à savoir l'étude des schémas numériques en soi, afin d'établir leurs propriétés mathématiques, les comparer entre eux et ainsi dégager leurs limites et leurs avantages.

Équipe Algèbre et théorie des nombres ATDN



▲ Loi d'addition des points sur une courbe elliptique (variété abélienne de dimension 1).

La théorie des nombres est, historiquement, la science qui étudie les relations entre les nombres et leurs propriétés arithmétiques. Elle s'intéresse par exemple à la distribution des nombres premiers ou à la résolution d'équations diophantiennes*. Pour ce faire, elle a amplement élargi son champ d'investigations et développé des outils complexes et puissants. L'un des thèmes de recherche de l'équipe ATDN concerne des systèmes d'équations diophantiennes bien particuliers : les variétés abéliennes. On peut définir sur l'ensemble de leurs solutions une vraie loi d'addition de nature arithmético-géométrique. Cette loi d'addition, couplée avec la théorie des hauteurs (qui mesure la complexité d'une solution), permet d'énumérer ces solutions et d'en obtenir de façon concrète à l'aide d'algorithmes et de calculs informatiques.

Il est également possible d'attacher aux variétés abéliennes un objet de nature analytique : la fonction L. Les liens entre fonctions L et variétés abéliennes restent encore mystérieux. Ils font l'objet de conjectures très profondes qui résistent encore aux recherches poussées de nombreux arithméticiens dans le monde. La théorie des représentations, dont l'essence est de décrire des objets complexes à l'aide d'invariants plus explicites, fournit un outil puissant pour attaquer ce type de conjectures.

La théorie des représentations fédère aussi l'équipe ATDN autour d'autres thématiques : représentations galoisiennes et théorie d'Iwasawa, représentations p-adiques, représentations des modules de Drinfel'd (issues de la géométrie arithmétique), représentations des groupes ou des algèbres, etc.

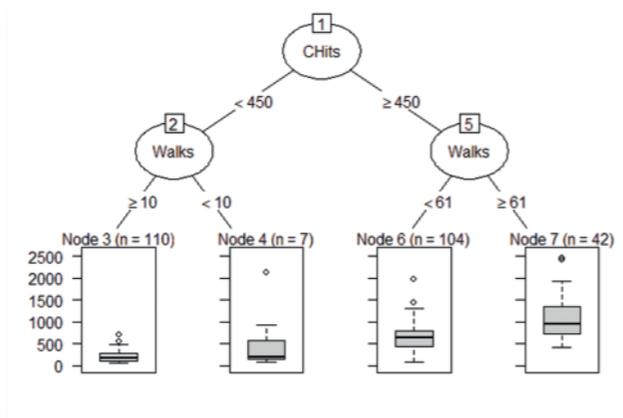
* Équations à coefficients entiers dont on cherche les solutions entières ou rationnelles.

Équipe Probabilités et statistique PS

Les probabilités et les statistiques permettent d'appréhender des phénomènes complexes où les notions de hasard et d'incertitude interviennent. Dans certains cas, même la connaissance exacte de l'ensemble des paramètres d'un système ne permet pas de prédire de manière parfaite sa valeur future et un aléa subsiste. Dans d'autres cas, la connaissance imparfaite du système est modélisée par une composante aléatoire. La modélisation stochastique trouve de nombreuses applications en sciences naturelles, sociales, économiques, physiques ou encore médicales.

En probabilités, on modélise des phénomènes aléatoires à l'aide d'objets mathématiques dont on cherche à démontrer les propriétés. On peut penser par exemple à la croissance d'une population, à la dynamique d'une épidémie ou à l'évolution d'un marché financier. On cherche à qualifier le comportement générique du système et les possibilités d'en dévier.

En statistique, l'objectif est différent : à partir d'un modèle probabiliste, on pourra par exemple chercher à estimer les paramètres du modèle grâce aux observations passées, puis proposer des prédictions pour le futur. Les données jouent un rôle central et la science des données est en plein essor, en lien avec l'appren-



▲ Prédiction par arbre de régression utilisée dans les méthodes de machine learning comme les forêts aléatoires ou le boosting.

tissage automatique (machine learning) et l'informatique.

L'équipe Probabilités et statistique a récemment développé des collaborations interdisciplinaires ou industrielles sur des thèmes variés : analyse des données aéronautiques issues d'une compagnie aérienne, analyse d'images hyper-spectrales en microscopie, traitement des données manquantes dans les enquêtes par sondages sur l'audience, estimation du volume du trafic des colis de la Poste par intégration des données massives, validation de l'*Approche Centrée sur la Personne* en psychologie, épidémiologie de la bronchopathie en milieu rural ou encore accidentologie et sécurité routière en Franche-Comté.

Équipe Équations aux dérivées partielles EDP

Comment prévenir l'apparition d'un embouteillage ? Déterminer l'équilibre d'un écosystème ? Comprendre la formation d'un trou noir ? Ou encore avancer dans le développement des ordinateurs quantiques ?

Depuis bientôt 250 ans, on aborde ces questions grâce à des modélisations qui s'appuient sur des équations aux dérivées partielles (EDP). Celles-ci constituent un véritable langage qui permet d'exprimer et de comprendre de nombreux phénomènes naturels – comme certaines lois physiques, biologiques - ou encore des phénomènes sociaux.

Parmi les différents types d'EDP étudiées à Besançon, certaines régissent le trafic routier, d'autres entrent en jeu dans les modèles de la mécanique quantique, comme les équations de Schrödinger ou de Dirac, certaines, comme les EDP de type réaction-diffusion, décrivent la dynamique des populations, d'autres modélisent les ondes gravitationnelles émises par des trous noirs.

Les chercheurs analysent chaque EDP, d'une part en menant une étude qualitative pour déterminer les principales propriétés des solutions, et d'autre part en

▼ L'équipe développe de nouveaux modèles macroscopiques pour l'évolution de la population de campagnols sur le territoire jurassien.



fournissant un cadre pour leur calcul ou leur approximation. Dans certains modèles, un moyen de contrôle permet d'influencer l'état du système. On étudie alors la possibilité d'amener celui-ci à un état donné. Il en résulte des retombées concrètes : par exemple, dans l'amélioration des performances d'outils d'imagerie médicale ou des protocoles de thérapies anti-cancéreuses, dans une plus grande fluidité du trafic routier ou encore dans la préservation de la biodiversité.

L'intérêt des EDP ne se résume pas à leurs applications. Le traitement de chaque type d'équation nécessite le développement et l'utilisation d'outils spécifiques. Pour comprendre ce qu'elles nous révèlent, on dispose d'une large palette de théories et d'instruments comme la topologie, l'analyse fonctionnelle ou le calcul stochastique. En retour, les questions d'EDP stimulent le développement de toutes ces branches et contribuent au vaste édifice des mathématiques.

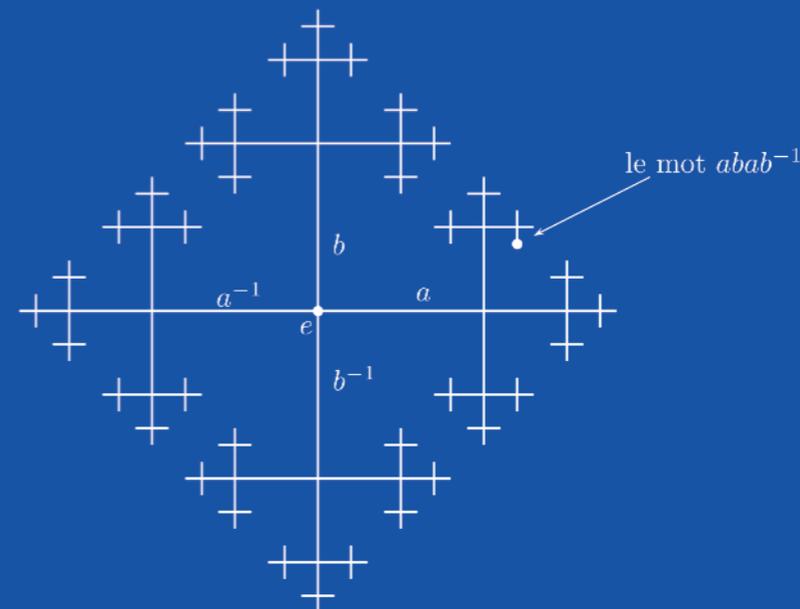
Équipe Analyse fonctionnelle AF

L'analyse fonctionnelle est la branche des mathématiques qui étudie les espaces de fonctions. Il s'agit d'ensembles, par exemple l'ensemble des fonctions continues, munis d'une structure. Cette structure est liée à l'existence d'opérations (addition, multiplication...) et de notions de distance entre les fonctions. Selon la richesse de cette structure, on parlera d'espaces de Banach ou d'algèbres de Banach, en référence au mathématicien polonais considéré comme l'un des fondateurs de la discipline. Ce point de vue abstrait permet de définir des opérateurs qui agissent sur ces espaces.

Certaines recherches de l'équipe Analyse fonctionnelle portent sur la théorie des opérateurs et l'étude des espaces d'opérateurs. Sur ces espaces la multiplication n'est pas commutative, ce sont des algèbres non commutatives. Une partie de l'équipe s'intéresse à ces algèbres non commutatives, concepts issus de la mécanique quantique. Leur idée consiste à regarder ces algèbres comme l'analogue des algèbres de fonctions, mais celles-ci ne sont plus définies sur un ensemble. On parle alors d'espace « quantique » ou « non commutatif ». Beaucoup de notions de la géomé-

trie, de l'analyse et des probabilités peuvent être généralisées à ces espaces quantiques. Ces recherches sont motivées entre autres par les besoins de la théorie de l'information quantique.

Un autre thème de recherche de l'équipe consiste à représenter des espaces métriques qui ont très peu de structure, juste une distance, à l'intérieur d'un espace qui en possède davantage comme un espace euclidien. Si ce plongement conserve les distances, cela offre des perspectives intéressantes. Ainsi, l'ensemble des mots peut être considéré comme un espace muni d'une distance définie par la proximité des suites de lettres. Il n'est pas possible de multiplier ni d'additionner des mots, mais si on peut plonger cet ensemble dans un espace où ces opérations existent, on réduit la quantité d'informations de façon à travailler à partir des coordonnées des mots dans l'espace. Ceci s'avère très utile pour développer des algorithmes du type de ceux qui sont utilisés par les moteurs de recherche informatiques. Inversement, la possibilité de plonger un tel espace dans un espace de Banach donne de précieuses informations sur la géométrie de ce dernier.

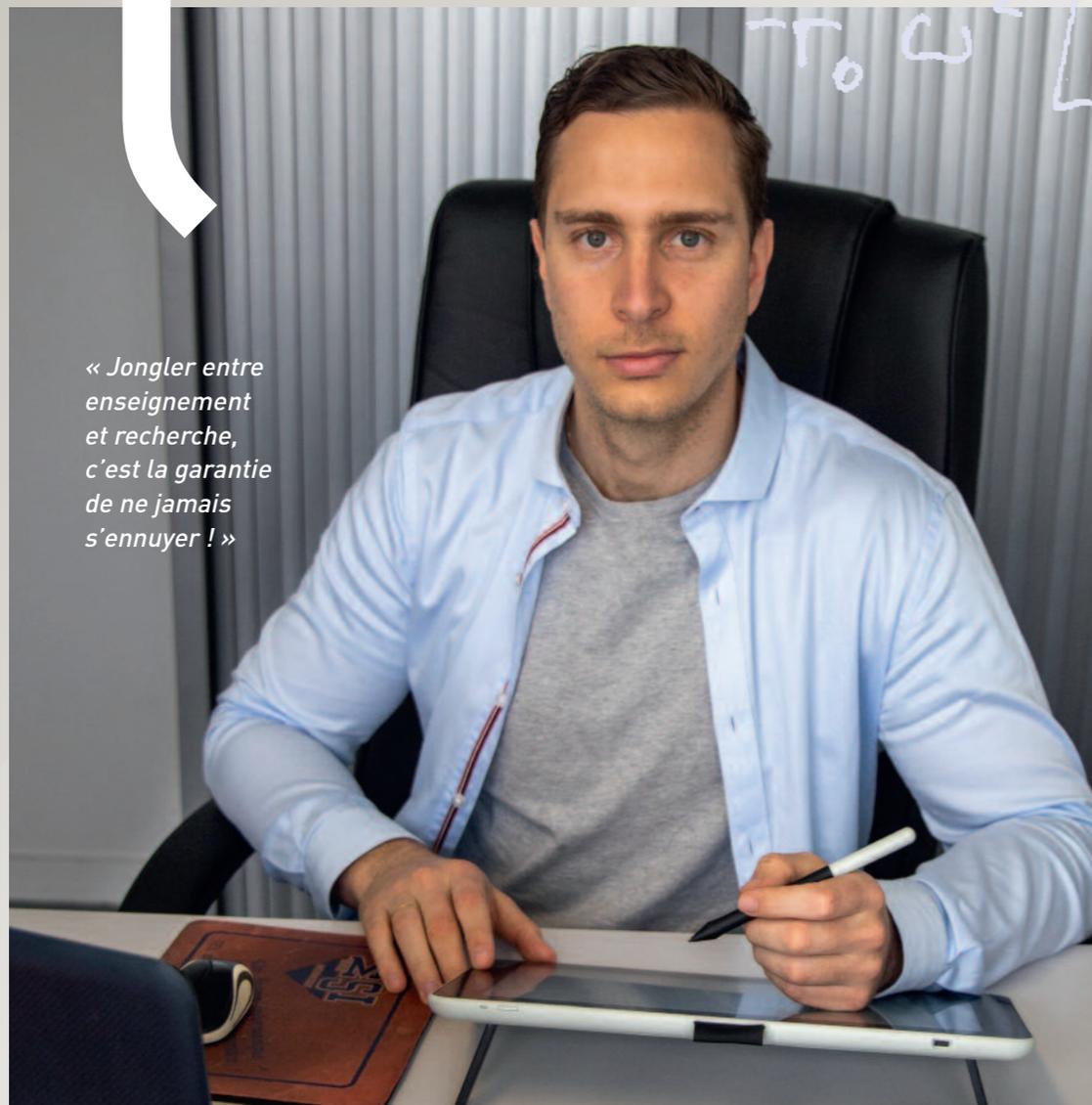


Graphe de l'ensemble des mots irréductibles de longueur 4



COLIN PETITJEAN

« Jongler entre enseignement et recherche, c'est la garantie de ne jamais s'ennuyer ! »



> Chercher et enseigner

Mû par un intérêt profond pour la science, **Colin Petitjean** excelle en physique, chimie et mathématiques.

C'est au cours de sa deuxième année de classe préparatoire scientifique, intégrée suite à un baccalauréat scientifique option physique chimie, que sa préférence pour les mathématiques s'affirme. Attiré par le milieu académique, il ne tente aucun concours et poursuit alors son cursus en 3^e année de licence de Mathématiques à l'université de Franche-Comté où il choisit le parcours Mathématiques fondamentales. Pourquoi ce choix ? Colin réalise que, depuis le collège, une petite graine germe en lui : celle de l'enseignement. En master, il opte donc pour le parcours Mathématiques générales qui, en master 2, prépare les étudiant-e-s au concours de l'agrégation. Concours en poche, il demande un report de stage : « *Je ne me sentais pas encore prêt à démarrer l'enseignement de suite. J'avais envie de continuer à apprendre les mathématiques et de découvrir le monde de la recherche.* » Colin réalise donc un second master 2 en recherche, à l'issue duquel deux de ses enseignants lui proposent de poursuivre en doctorat. « *Je me souviendrai toujours des propos d'un de mes directeurs de thèse qui disait que j'avais tout le temps pour être prof, que j'avais là une belle opportunité de faire quelque chose de différent en m'essayant à la recherche. C'est un argument qui a su me convaincre.* » Pendant ses trois années de thèse, qui bénéficient d'un financement via une bourse ministérielle, il se consacre, en

analyse fonctionnelle, à l'étude des aspects de la structure linéaire des espaces Lipschitz-libres. Après le doctorat, il obtient un poste d'ATER¹. Même si le volume horaire destiné à l'enseignement complique la poursuite de ses travaux de recherche, Colin mène sa barque et commence à candidater à des postes plus pérennes. « *Pour espérer avoir un poste, il faut maintenir la recherche, continuer à se faire connaître, tisser des liens avec la communauté scientifique, communiquer.* » Il obtient un poste de MCF² à l'université Gustave Eiffel de Marne-la-Vallée. Au travers de ses missions, il jongle entre enseignement et recherche, diversité d'activités qui l'avait déjà séduit au cours de son doctorat. Colin accorde beaucoup d'importance à la pédagogie et la vulgarisation : il profite de toutes les heures de formation qui lui sont proposées pour se former et développer ses compétences, au service de ses étudiant-e-s. Côté recherche, il poursuit dans la même lignée que celle initiée en thèse en y apportant des compléments nouveaux, notamment par le biais de collaborations internationales. Depuis Paris, il continue d'échanger avec ses anciens collègues (devenus aussi amis) du Laboratoire de mathématiques de Besançon, et espère pouvoir poursuivre ces collaborations, fort de nouvelles expériences, connaissances et compétences.

¹ Attaché temporaire d'enseignement et de recherche

² Maître de conférences

Services d'appui à la recherche

→ Qualité de vie au travail et éco-responsabilité

Le LmB s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la qualité de vie au travail et de l'éco-responsabilité qui permet à ses membres de travailler dans des conditions optimales et de réduire leur impact environnemental pour une recherche respectueuse de l'environnement. Une commission qualité de vie au travail et éco-responsabilité est créée en 2021 afin de renforcer ces actions.



Le service administratif et financier

Ce service assure le soutien administratif et financier auprès de la centaine de membres permanents et non permanents du LmB. Il interagit avec les différents services : ressources humaines, finances, valorisation, communication, technique, juridique, hygiène et sécurité.

Sur le plan financier il prépare et suit l'exécution du budget dans le respect des procédures des tutelles et des financeurs. Il assure la gestion et réalise les bilans des différents financements obtenus (uFC, CNRS, UBFC, Région, ANR, AMIES, ISITE, IUF, etc.).

Du côté administratif il accueille, conseille et accompagne les personnels du LmB et les invité-e-s dans leurs démarches (conventions d'accueil, invitations, déplacements). Il gère également la logistique des locaux et du matériel pour le bon fonctionnement du laboratoire. Lors de colloques, de manifestations scientifiques pilotées par le LmB ou d'actions de vulgarisation des mathématiques, il offre aux équipes de recherche un appui logistique de proximité à l'organisation.

Ce soutien administratif et financier est également effectué pour les activités du Département d'enseignement de mathématiques et de l'IREM.

Le service ressources informatiques

Composé de deux personnes, le service assure la gestion du parc informatique et de l'infrastructure réseau, ainsi que l'assistance utilisateur auprès de la centaine de membres permanents et non permanents du LmB. Il met en place les projets permettant l'évolution des services en adéquation avec les besoins du laboratoire. Plusieurs serveurs hébergés au laboratoire permettent de répondre aux besoins spécifiques, notamment en calcul, et un matériel performant de travail à distance (visio-conférence mobile, tableau blanc interactif) facilite les collaborations scientifiques.

Le SRI a également pour but de faciliter l'accès numérique. Il participe au réseau Mathrice développant des moyens numériques spécifiques pour la recherche en mathématique. Il est aussi l'interlocuteur privilégié entre le laboratoire et l'université pour des ressources comme le Mésocentre de Calcul de Franche-Comté.

La bibliothèque de recherche

La documentation est un outil fondamental pour la recherche mathématique. Avec plus de 16 500 documents (ouvrages, thèses du laboratoire, congrès, rapports, etc.) et 250 titres de périodiques (75 abon-

→ Les PMB

*Le LmB édite les Publications mathématiques de Besançon - Algèbre et théorie des nombres qui contribuent à la diffusion d'articles de recherche. Grâce à cette revue, le LmB a une politique d'échange avec une trentaine de revues académiques et œuvre au développement de la science ouverte en mathématiques. Cette revue est publiée par les Presses Universitaires de Franche-Comté (papier) et par le centre Mersenne (électronique).
<https://pmb.centre-mersenne.org>*



ments en cours dont 34 revues reçues en échange avec les Publications mathématiques de Besançon), la bibliothèque conserve et met à disposition une documentation imprimée, spécialisée en mathématiques fondamentales et appliquées ainsi qu'en histoire et philosophie des mathématiques. Elle offre également un accès à de nombreuses ressources numériques (articles, ebooks, bases de données), grâce aux abonnements du LmB, de l'université de Franche-Comté, du CNRS, ainsi qu'aux licences du RNBM et aux licences nationales négociées pour l'enseignement supérieur.

La bibliothèque de mathématiques accueille les doctorant-e-s et enseignant-e-s-chercheur-e-s en mathématiques et disciplines voisines, ainsi que les étudiant-e-s à partir du niveau master, et les préparations à l'agrégation de mathématiques. Elle propose un service de recherche documentaire et de PEB (Prêt entre Bibliothèques). La bibliothèque est membre du RNBM (Réseau National des Bibliothèques de Mathématiques).

→ PCMath



La bibliothèque participe au Plan de Conservation partagée des périodiques imprimés de Mathématiques. Pôle de conservation pour 25 revues au niveau national, elle est garante de leur préservation et d'un accès pérenne pour la communauté mathématique.



ÉLISE BALLOT



« Je trouve fantastique de pouvoir, à partir de calculs, traduire une question médicale. »

> Les mathématiques pour faire avancer la recherche en médecine

Élise Ballot est biostatisticienne au Centre Georges François Leclerc, où sa passion pour les mathématiques appliquées sert l'avancée de la recherche contre le cancer.

Entre les mathématiques et la santé, son cœur balance. Après un baccalauréat scientifique spécialité maths, Élise souhaite consacrer sa vie professionnelle à cette matière qu'elle chérit et dans laquelle elle excelle. Mais, ne connaissant pas les débouchés offerts par les cursus universitaires en mathématiques, elle s'oriente en médecine.

Très vite, elle réalise que cette voie ne lui convient pas. Au bout d'un mois, Élise prend rendez-vous dans un centre d'informations et d'orientation et découvre le large panel des domaines professionnels liés aux mathématiques. Elle suit alors les conseils qui lui sont prodigués et intègre la licence de Mathématiques de l'université de Franche-Comté. En deuxième année, elle découvre la bio-statistique et lorsqu'elle doit, l'année suivante, choisir entre les 3 parcours proposés (mathématiques fondamentales, pluridisciplinaires ou appliquées), elle se tourne tout naturellement vers celui qui lui permettra d'allier mathématiques et santé. Elle poursuit en master, dans cette même lignée. « J'ai suivi le master de Mathématiques appliquées. La formation combinait alternance et proximité géographique avec ma famille, c'était parfait. » En première année, Élise cherche les entreprises de la région liées au médical auprès desquelles elle pourrait candidater et réalise son alternance au Centre Georges François Leclerc à Dijon. « L'alternance permet

de mettre un pied dans le milieu professionnel et d'appliquer ce que l'on apprend en cours. C'est une vraie plus-value pour les étudiants-e-s. » Elle précise : « L'alternance nécessite d'être rigoureux, organisé et motivé car il faut travailler ses cours pendant l'alternance, en rentrant le soir. Mais elle permet de développer des compétences intéressantes sur le marché de l'emploi. » Master en poche, Élise poursuit au Centre Georges François Leclerc, où elle prend plaisir à faire de la recherche en transposant des problématiques et hypothèses biologiques sous forme de modèles mathématiques.

Que ce soit pour étudier l'efficacité d'un traitement, l'évolution d'une maladie ou créer des scores pronostiques, Élise recueille des données, compilées par d'autres services. Elle accompagne les médecins chercheur-e-s en analysant grâce aux statistiques ces bases de données et présente ensuite les résultats obtenus. Elle contribue ainsi aux publications scientifiques, parfois même en tant que co-rédactrice. Élise décrit ses missions comme variées, très loin d'une quelconque routine. « Les médecins chercheur-e-s viennent avec des questions vastes, qui changent régulièrement. On applique plein de types d'analyses différentes pour y répondre. » Elle ajoute que le milieu médical implique un vocabulaire spécifique, qu'elle découvre et apprend au fil des projets sur lesquels elle travaille. « On ne s'arrête jamais d'apprendre, c'est très motivant ! » Et l'apprentissage ne s'arrête pas là : « Pour restituer nos résultats aux médecins chercheur-e-s, nous devons expliquer simplement les analyses mathématiques que nous réalisons : nous faisons de la vulgarisation ! »

● Les formations à l'université de Franche-Comté

La Licence de mathématiques

La licence est le diplôme universitaire européen de niveau bac +3. Elle ouvre l'accès au master et permet de se présenter à des concours de recrutement. Le premier semestre, commun aux licences de mathématiques, physique, chimie, informatique et sciences de l'ingénieur, permet la découverte de différentes disciplines scientifiques. Jusqu'à la fin de la première année, les étudiant·e·s ont la possibilité de garder ouvertes les portes de deux licences différentes grâce au vaste choix d'unités d'enseignement qui leur est proposé au second semestre. L'objectif des deux premières années de la licence de mathématiques est l'apprentissage du raisonnement mathématique et l'acquisition de connaissances générales en analyse, algèbre, géométrie et probabilités. La spécialisation débute en troisième année avec quatre parcours différents :

→ Licence Accès Santé

Cette déclinaison de la licence permet de candidater en seconde année des études de santé tout en suivant les enseignements de licence de mathématiques. Dans cette filière, une formation complémentaire de santé est intégrée au cursus.



→ Parcours pédagogique pré-professionnel dès la 2^e année :

- entrée progressive et rémunérée dans le métier d'enseignant·e ;
- recrutement dans des établissements scolaires avec une mise en responsabilité graduelle (observation en classe, aide aux devoirs, co-animation, remplacements, etc.) ;
- double suivi par des référent·e·s du secondaire et de l'université ;
- formation professionnelle intégrée au cursus universitaire.

- **Le parcours Mathématiques fondamentales** prépare principalement à la recherche en mathématiques ou à l'enseignement via l'agrégation. Il débouche sur le *master Mathématiques* de Besançon et son haut niveau de formation ouvre aussi les portes d'autres spécialités de master en mathématiques ou de grandes écoles.
- **Le parcours Mathématiques et applications** vise à former des spécialistes en mathématiques appliquées. Il conduit, à l'université de Franche-Comté, au *master Modélisation statistique* puis aux métiers de l'ingénierie ou de la recherche en statistique. Son solide niveau de formation en mathématiques appliquées permet de poursuivre dans d'autres masters ou en écoles d'ingénieurs.
- **Le parcours Mathématiques pour l'enseignement secondaire** est orienté vers l'enseignement des mathématiques en collège ou lycée. L'accent est mis sur l'acquisition du bagage mathématique au programme du CAPES. Il conduit au *master Métiers de l'enseignement des mathématiques du second degré*.
- **Le parcours Pluridisciplinaire** est particulièrement adapté à une poursuite d'étude en *master Métiers de l'enseignement* qui prépare au concours de professeur·e des écoles. Il permet l'acquisition de compétences en mathématiques et dans d'autres disciplines scientifiques (physique, chimie, biologie et géologie).

● Les formations à l'université de Franche-Comté

Master Modélisation statistique

Le master « Modélisation statistique » est une formation professionnelle de haut niveau en ingénierie statistique. Il forme les jeunes mathématicien·ne·s à la modélisation statistique extrêmement présente dans de nombreux secteurs d'activité économique : production industrielle, santé publique, compagnies d'assurance, laboratoires pharmaceutiques, agronomie, écologie et bien d'autres. Des connaissances solides en informatique sont également dispensées. Son caractère généraliste permet d'ouvrir les perspectives professionnelles les plus larges. Le programme couvre un bloc solide d'outils théoriques généraux, rapidement mis en pratique sur des données concrètes au moyen de programmes informatiques et logiciels spécialisés (programmation orientée objet, R, Python, SAS, etc.). En deuxième année, les bases théoriques sont mises en perspective sur des domaines précis (apprentissage statistique et data science, bio-statistique, fiabilité, séries temporelles, etc.) au travers de cours spécifiques. Chacune des deux années se conclut par un stage en milieu professionnel. Le master 2 est également ouvert en alternance. Un réseau solide, s'appuyant sur les ancien·ne·s étudiant·e·s du master, facilite l'insertion professionnelle et la recherche de stages de fin d'études.

→ Alternance

Depuis 2015, le master 2 de Modélisation statistique peut se faire en alternance (contrat de professionnalisation ou apprentissage). En 2020, 6 étudiant·e·s de la promotion ont signé un contrat dans des entreprises telles qu'Orange, le Crédit Agricole, John Deere... Un vrai atout pour une insertion professionnelle réussie !

Une spécialisation est proposée aux étudiant·e·s désireux de suivre une carrière dans les métiers de la recherche (universités, Inserm, INRAE, Inria, services Recherche et Développement de grands groupes industriels, etc.).

▼ Journée des Métiers de la Statistique 2014



→ Am2s

Depuis 2008, le master Modélisation statistique a son association d'étudiant·e·s, l'Am2s, qui développe une cohésion entre actuel·le·s et ancien·ne·s étudiant·e·s du master en organisant des rencontres et différents événements tout au long de l'année : Journée des Métiers de la Statistique, école d'hiver en statistique, invitation des professionnels du monde industriel, animation du compte LinkedIn du master.



- Les formations à l'université de Franche-Comté

Master Mathématiques

Cette formation a deux objectifs principaux : l'initiation à la recherche en mathématiques fondamentales et appliquées et la préparation à l'enseignement des mathématiques de haut niveau.

- **La première année est commune** aux deux parcours. Elle permet de finaliser une formation générale en mathématiques en fournissant des bases solides et variées pour préparer l'agrégation ou une spécialisation de recherche. Suivant leur projet les étudiantes choisissent un projet pédagogique en lycée ou un projet d'initiation à la recherche.

- **Le parcours *Mathématiques générales*** du M2 prépare au concours de **l'agrégation de mathématiques** qui ouvre les portes de l'enseignement secondaire et supérieur. Les cours donnent le recul mathématique nécessaire à l'enseignement de la discipline à tout niveau tout en préparant aux épreuves et aux exigences du concours. Cette préparation est reconnue nationalement pour son très bon taux de réussite et a été distinguée par le jury du concours dans son rapport annuel plusieurs fois ces dernières années. À l'issue de cette préparation, les étudiantes

→ **préparation à l'agrégation de mathématiques**

- très bon taux de réussite
- 12 reçu.e-s à Besançon en 2019
- public venant de Franche-Comté et de toute la France



→ École d'hiver du LMB

Chaque hiver le LMB organise une école d'initiation à la recherche pour les étudiant-e-s du master mathématiques. Dans une ambiance conviviale, les étudiant-e-s assistent à des exposés de chercheurs du laboratoire et échangent avec les doctorant-e-s.

souhaitant s'initier à la recherche peuvent poursuivre leurs études dans le parcours *Mathématiques approfondies*.

- **Le parcours *Mathématiques approfondies*** du M2 forme aux métiers de la **recherche en mathématiques**. La spécialisation se fait de façon progressive : tout d'abord au premier semestre par un choix d'options, puis au second semestre par le sujet de stage de M2. Les disciplines de spécialisation proposées sont celles des cinq équipes de recherche du LMB. Ce parcours accueille régulièrement des étudiants étrangers, en particulier grâce au partenariat avec l'université de Wuhan (Chine) et les étudiant-e-s binationnels peuvent faire leur stage à l'étranger dans une université partenaire en Europe, aux USA, au Brésil ou en Chine.

À l'issue de ce parcours les étudiant-e-s peuvent débiter un doctorat de mathématiques dans les meilleures conditions. Il leur est aussi possible de postuler en entreprise sur des emplois d'ingénierie qui nécessitent un excellent bagage en mathématiques théoriques.

- Les formations à l'université de Franche-Comté

Magistère

Depuis 2013 les étudiant-e-s du parcours *Mathématiques approfondies* peuvent compléter leur formation par une inscription au magistère de mathématiques. C'est une formation sélective de haut niveau qui se déroule en 3 ans, parallèlement à une 3^e année de licence et aux deux années du master Mathématiques. Ce diplôme universitaire complète le cursus habituel par des cours supplémentaires en mathématiques et

culture mathématique ainsi que des activités d'initiation à la recherche dès la licence.

La mobilité internationale y est encouragée avec une formation à l'anglais mathématique renforcée.

Une vingtaine d'étudiant-e-s venant de la France entière débutent le magistère chaque année.

→ Study Abroad de Texas A&M University

L'université de Franche-Comté accueille depuis 2016 un cours de Texas A&M University délocalisé à Besançon. Une douzaine d'étudiant-e-s américain-e-s viennent pendant un mois faire des ma-

thématiques au LmB et découvrir la Franche-Comté. Les étudiant-e-s du magistère, associé-e-s à ce programme, suivent le cours et préparent en petits groupes franco-américains des exposés d'histoire des mathématiques en anglais.



Master MEEF

Après une licence de mathématiques un débouché possible est l'enseignement des mathématiques dans le secondaire ou l'enseignement primaire. Ces métiers sont préparés au sein de masters MEEF (Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation) à l'INSPE. En complément de leurs enseignements à l'INSPE, les futures enseignant·es effectuent des stages dans des classes du secondaire ou du primaire selon le parcours choisi, afin d'acquérir la maîtrise des compétences nécessaires à l'exercice du métier. L'accompagnement des stagiaires est assuré conjointement par des collègues de l'université et des établissements scolaires.

● **Le master MEEF professeur du 2nd degré en mathématiques**

Sa vocation : former des enseignant·es certifié·es, compléter la formation d'enseignant·es en poste et ouvrir des débouchés en médiation scientifique. La formation s'appuie sur des unités disciplinaires dont l'objectif est la consolidation du raisonnement et des contenus de la licence de mathématiques.

Cet enseignement théorique est complété par une formation professionnelle axée sur :

— une introduction à la philosophie, la psychologie et

la sociologie de l'éducation ;

— une sensibilisation aux difficultés scolaires et au handicap ;

— une ouverture sur la popularisation de l'activité mathématique ;

— une approche réflexive de la pratique enseignante.

Cette formation répond aux exigences du contenu des épreuves écrites et orales du CAPES.

● **Le master MEEF professeur des écoles du 1^{er} degré**

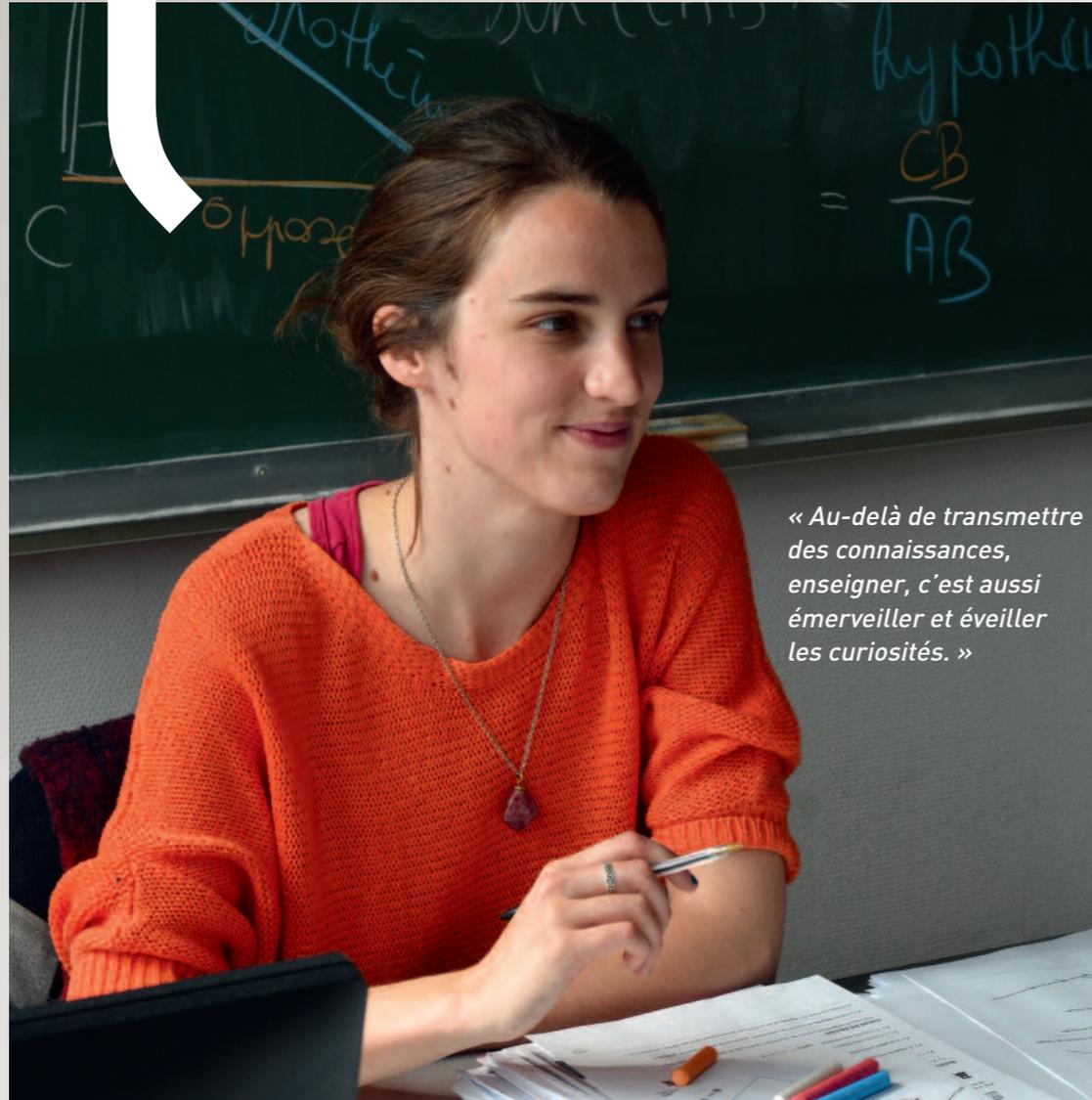
Après un parcours pluridisciplinaire mutualisé entre les licences de mathématiques, chimie et sciences de la vie, les étudiant·es peuvent intégrer ce master pour devenir professeur·es des écoles.

La formation s'articule autour d'unités disciplinaires, dont les mathématiques et les sciences, et d'unités professionnalisantes. Elle contient les éléments exigés aux épreuves du concours CRPE.

Le bagage scientifique, l'aptitude au raisonnement et la culture générale acquis dans le cursus de la licence de mathématiques constituent des bases solides pour la réussite des futur·es enseignant·es. Leur présence dans les classes contribue ensuite à la transmission d'une image positive des mathématiques et des sciences dans les écoles.



CLAIRE MARIN



« Au-delà de transmettre des connaissances, enseigner, c'est aussi émerveiller et éveiller les curiosités. »

> De la vocation pour l'enseignement

Née de parents ingénieurs, **Claire Marin** ne veut absolument pas marcher sur leurs pas. Sa vocation à elle, c'est d'être prof. Et plus particulièrement, prof. de mathématiques, parce qu'elle affectionne tout particulièrement cette matière « pour son côté ludique et abstrait. »

Après un bac S, option mathématiques, elle réalise à Rennes deux ans de classe préparatoire pour développer ses connaissances et compétences. Elle ne tentera cependant aucun concours. Elle rejoint alors l'université de Franche-Comté pour son magistère en mathématiques, qu'elle prépare en parallèle d'une licence 3 parcours Mathématiques fondamentales, parcours qui s'adresse principalement aux étudiant-e-s qui se destinent à l'enseignement (CAPES ou agrégation). Claire poursuit son cursus avec le master de Mathématiques approfondies, qu'elle réalise en 3 ans. Sa première année de master 2 est consacrée à sa préparation à l'agrégation. Pour Claire, c'est une année intense dont elle garde malgré tout un souvenir positif : « Nous étions une petite promo de moins de 10 étudiant-e-s, nous avions un suivi individualisé. Nous disposions d'une salle de travail que l'on pouvait occuper à notre guise. L'ambiance était très bienveillante. Les profs, très accessibles, prenaient vraiment soin de nous. C'étaient des conditions exceptionnelles. » Le concours de l'agrégation se divise en deux temps : des épreuves écrites suivies, quelques mois plus tard, en fonction des résultats obtenus, d'épreuves orales.

« Pendant l'année de préparation, nous avions des épreuves blanches régulières les samedis matin en guise d'entraînement. Une fois les écrits passés, le rythme devient plus soutenu pour la dernière ligne droite. » Peu de temps après les dernières épreuves, les résultats tombent. C'est dans la poche ! Claire est soulagée. Mais elle demande un report de stage car elle souhaite s'essayer à la recherche et assoir ses choix professionnels. Elle réalise donc une seconde année de master 2. « C'était une année très intéressante. La recherche m'a beaucoup plu. J'ai même hésité à me lancer dans cette aventure. Mais finalement, j'ai préféré rester fidèle à mes plans et à l'issue du master, j'ai démarré mon stage de titularisation. » Stage pendant lequel, Claire enseigne à mi-temps dans un lycée auprès de deux classes. Son autre mi-temps, elle le passe à l'INSPE, en tant qu'élève, où elle suit des cours de pédagogie. Une fois titularisée, elle passe entre les mailles des mouvements inter-académiques et obtient un poste à profil pour enseigner les mathématiques... en breton ! Elle dispense depuis des cours au collège et assure, en sus, des heures de vacances en IUT et en classe préparatoire. Claire apprécie plus particulièrement intervenir auprès des niveaux post-baccalauréat : « Je peux pratiquer les vraies mathématiques, j'y trouve un réel plaisir intellectuel ! » Alors Claire compte les points et espère un jour pouvoir obtenir un poste en lycée... et, pour satisfaire sa soif cérébrale, ne se ferme pas à l'idée de faire une thèse !

Formation doctorale

Le doctorat est le diplôme européen de niveau bac+8 qui constitue le dernier échelon du LMD et une référence reconnue internationalement.

Préparer une thèse est une expérience professionnelle en tant que telle. Le doctorat offre une formation à la recherche en mathématiques et s'adresse aux étudiant·e·s désirant acquérir une expertise de haut niveau sur un domaine ciblé. La motivation pour le sujet est une condition essentielle de réussite, ainsi que la curiosité, l'esprit d'initiative et l'autonomie. Les thèses de doctorat sont financées par des contrats doctoraux du Ministère ou de la Région, des contrats industriels (CIFRE) ou institutionnels (ANR, Europe) ou encore des financements de thèse étrangers. À l'Université Bourgogne Franche-Comté, la formation doctorale en mathématiques est rattachée à l'École doctorale Carnot-Pasteur.

Le Laboratoire de mathématiques de Besançon propose aux doctorant·e·s des thématiques en lien avec ses cinq équipes de recherche. Durant leur thèse, ces jeunes chercheur·e·s participent activement aux activités scientifiques du laboratoire (séminaires, groupes

de travail, rédaction d'articles de recherche ou de vulgarisation, etc.), collaborent avec d'autres chercheur·e·s et effectuent régulièrement des missions dans d'autres laboratoires en France et à l'étranger. Ils ont également l'occasion d'assurer des enseignements à l'université.

Les doctorant·e·s en thèse CIFRE (aussi appelée thèse en entreprise) doivent répondre aux problématiques concrètes posées par leur entreprise d'accueil tout en bénéficiant de l'expertise de recherche du laboratoire de mathématiques.

À l'issue de leur doctorat et d'un éventuel emploi post-doctoral, les jeunes docteur·e·s ont acquis la maturité mathématique nécessaire pour poursuivre leur recherche de façon autonome. Ils peuvent envisager une

carrière de chercheur·e (au CNRS, à l'Inria, etc.) ou d'enseignant·e -chercheur·e dans une université. Pour les titulaires de l'agrégation, le titre de docteur·e facilite l'accès à un poste d'enseignant·e tant en classes préparatoires qu'à l'université (PRAG). Une carrière dans le secteur privé est également possible, sans oublier

les opportunités d'emploi à l'étranger.

L'habilitation à diriger les recherches (HDR) se prépare 5 à 10 ans après le doctorat. Elle marque la reconnaissance du niveau scientifique du candidat, témoigne du caractère original de sa démarche et de sa capacité à encadrer de jeunes chercheur·e·s.

entre 2010 et 2020

le LMB a formé
68 docteur·e·s,
dont 33 issu·e·s
des masters
de l'université
de Franche-Comté.



AUDREY FOVELLE ET MEHDI DAGDOUG



« La recherche, c'est dédier sa vie professionnelle à réfléchir. » Audrey Fovelle

« En recherche, on étudie comment les objets mathématiques s'agencent entre eux. » Mehdi Dagdoug

> Passion recherche

Audrey Fovelle est doctorante en mathématiques fondamentales. **Mehdi Dagdoug** est doctorant en mathématiques appliquées. Entre différences et similitudes, leurs parcours les ont conduits au Laboratoire de mathématiques de Besançon, où ils nourrissent leur passion pour la recherche.

Les mathématiques ne séduisent pas toujours. Pourtant, Audrey et Mehdi en sont passionnés. Mais si la recherche a toujours été une évidence pour Audrey, ce n'est pas le cas pour Mehdi. Ils ont pourtant tous deux rejoint le chemin de la recherche à travers le doctorat. Comment ?

Pour leur baccalauréat, ils choisissent la filière scientifique. Pour Audrey, cette orientation n'a d'autre objectif que de lui ouvrir le plus de portes possibles. Mehdi, lui, s'est laissé guider par son intérêt particulier pour les maths. Diplôme validé, ils poursuivent en classe préparatoire scientifique.

Mehdi bifurque avant la fin de la première année, et intègre la licence de Mathématiques de l'université de Franche-Comté. En 3^e année, il choisit le parcours Mathématiques et applications : il n'envisage pas la voie du professorat en collège ou au lycée mais plutôt les débouchés en entreprise. Il poursuit ensuite en master Modélisation statistique. « Dès le début du master, mon investissement a gagné en sérieux. Je me suis rendu compte que les mathématiques me passionnaient vraiment. » Pendant le master, Mehdi réalise un premier stage en entreprise, à Airbus, dans un service de Recherche et Développement. Dans ses missions, il éprouve plus de plaisir à lire la bibliographie scientifique théorique qu'à appliquer des modèles. « C'est au cours de ces quelques mois que j'ai compris que je souhaitais poursuivre en thèse. » Son dynamisme et son attirance pour la recherche ne passent pas inaperçus : il se voit proposer un sujet de thèse par une de ses en-

seignantes. Son doctorat jouit d'un financement particulier : 50% est pris en charge par la Région Bourgogne-Franche-Comté, 50% par une entreprise privée, Médiamétrie.

De son côté, Audrey finit ses deux années de classe préparatoire et tente le concours de l'ENS*, « voie royale pour accéder à la recherche. » Malheureusement, elle ne fait pas partie des 5% de candidat-e-s qui réussissent le concours. Elle intègre alors la 3^e année de licence parcours Mathématiques fondamentales de l'université de Franche-Comté, et suit en parallèle le magistère, véritable initiation à la recherche. Pour le master, elle choisit le parcours Mathématiques générales qui prépare les étudiant-e-s à l'agrégation. « En recherche, il y a peu de places : il faut assurer ses arrières. » Même si Audrey aime enseigner, l'agrégation est un plan B dans le cas où sa carrière en recherche devait ne pas aboutir. Une seconde année de master 2 est dédiée à sa formation de chercheur. Tout au long de son cursus, Audrey se spécialise en analyse fonctionnelle, par goût pour les mathématiques fondamentales. Elle rencontre son futur encadrant de thèse pendant son stage de master 1 et, après trois projets sous sa supervision, elle lui présente son souhait de poursuivre en thèse. C'est ainsi qu'ils déposent un projet auprès de la Région Bourgogne-Franche-Comté et obtiennent un financement permettant de poursuivre leur collaboration en thèse.

Pour Audrey et Mehdi, le Laboratoire de mathématiques de Besançon est un lieu idéal pour la recherche, où, au-delà du contexte scientifique de qualité, le partage, l'entraide et les échanges sont nombreux. Pas de doute ces deux jeunes doctorant-e-s souhaitent poursuivre leur carrière en recherche, en s'appuyant sur toutes les ressources apportées par le LmB.

* École Normale Supérieure

Culture mathématique

Objets mathématiques

Le laboratoire héberge une collection de 35 modèles mathématiques, dont 31 moulages en plâtre et 4 surfaces réglées représentées par des fils tendus sur des cadres de laiton.

Cette collection a fait l'objet d'un inventaire et d'une identification en 2014 suite à l'intérêt que les modèles suscitent en histoire de l'art. Dans les années 30 les surréalistes ont reconnu leur caractère concret d'« objets mathématiques » alors que les mathématiciens s'en étaient désintéressés depuis une génération. En effet après l'essor de la géométrie des surfaces dans la 2^e moitié du XIX^e siècle autour des concepts centraux de courbure et de points singuliers, ces modèles, qui avaient vocation pédagogique, avaient fini par être considérés comme des obstacles à l'algébrisation de la géométrie.

Après une exposition au Musée du temps de Besançon accompagnée de l'édition d'un catalogue, cette collection voyage aujourd'hui régulièrement au gré de prêts et dans le cadre d'une exposition itinérante conçue en collaboration avec le service *Sciences, art, culture* de l'université qui valorise aussi le fonds d'ouvrages du XIX^e siècle de la Bibliothèque universitaire des sciences de la Bouloie.



Fête de la science 2014



Fête de la science 2019



→ Musique & mathématiques

Le département de mathématiques soutient des actions interdisciplinaires qui confrontent le monde des mathématiques et celui de la culture : un cours de culture mathématique est ainsi proposé dans le cadre de la licence de mathématiques. Sur le thème *Musique & mathématiques* un groupe d'étudiant-e-s prépare des pièces originales en atelier avec un musicien professionnel et les produit sur scène. Des concerts *Musique & mathématiques* sont aussi organisés en collaboration avec les acteurs de la vie culturelle bisonnaine (FRAC de Franche-Comté, Conservatoire du Grand Besançon, Les Deux Scènes).

IREM de Franche-Comté

Créé en 1969, l'Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques de Franche-Comté est un institut de recherche au sein du département de mathématiques qui élabore et diffuse des travaux sur l'enseignement des mathématiques. Ses séminaires et groupes de travail sont animés par des enseignant·e·s du supérieur et des professeur·e·s de l'enseignement primaire ou secondaire intéressé·e·s par une réflexion approfondie sur les mathématiques et leur enseignement, de l'école élémentaire au lycée. Leurs travaux sont publiés dans la revue de l'IREM FC *Mathématiques vivantes* aux Presses universitaires de Franche-Comté.

L'IREM propose des stages de formation continue pour les enseignant·e·s dans le cadre du plan académique de formation et participe aussi à la promotion des mathématiques à travers de nombreuses actions : animations dans des classes, conférences, accueil de lycéen·e·s, fête de la science. Chaque année, il organise deux rallyes mathématiques concernant les niveaux 6^e à 2nde pour lesquels, à l'occasion de la remise des prix, plus de 350 élèves viennent passer une journée scientifique à l'université de Franche-Comté.

Les différents IREM sont organisés en un réseau national et proposent des commissions thématiques nationales ou des colloques aux enseignant·e·s.



Journées des lycéens 2017

→ Les Journées des lycéens

Chaque année depuis 2011, le LmB accueille les lycéen·e·s de la région pour une journée de découverte de la recherche en mathématiques. Au programme : → des ateliers d'initiation à la recherche encadrés par des enseignant·e·s, chercheur·e·s et doctorant·e·s → des conférences sur la recherche en mathématiques → des visites de laboratoires de l'UFR → des rencontres avec des étudiant·e·s.

L pour ludique
E pour éducatif
A pour autonome
R pour réflexif
N désigne neuro ergonomique
O pour ouvert

et cet acronyme cache le mot anglais to learn qui signifie apprendre.

→ Learn'o

Learn-O est issu de la rencontre d'acteurs d'horizons variés : un éducateur sportif, un maître de conférences en maths, un enseignant d'EPS orienteur, un professeur de solfège. Il s'agit pour l'élève de se déplacer physiquement dans un maillage de balises en résolvant des problèmes ayant traits à différentes disciplines (mathématiques, musique, arts...).

Au-delà d'une simple séance de mathématiques en plein air, *Learn-O* propose un éventail de situations mathématiques et interdisciplinaires riches et adaptées à tous les publics scolaires et également à la formation initiale et continue des enseignant·e·s.



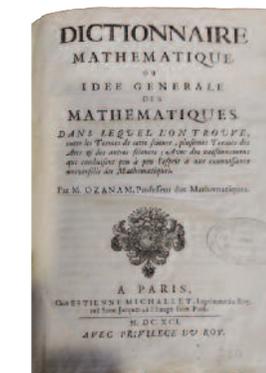
En octobre 2020, le festival *Learn'o* s'est tenu pendant trois jours sur le campus de la Bouloie et a réuni quelques 600 élèves en intégrant à l'organisation les étudiant·e·s de licence STAPS et master MEEF.

Ouvertures vers la physique et vers l'histoire des mathématiques

Le LmB héberge un séminaire fondé il y a plus de 25 ans par des mathématicien·e·s et des physicien·e·s de l'université de Franche-Comté, intitulé « épiphymath » pour regrouper en un seul mot « épistémologie, physique et mathématiques ». Ce séminaire réunit des mathématicien·e·s, des physicien·e·s, des chercheur·e·s de l'observatoire, et des philosophes autour des grands thèmes des fondements de la physique quantique, de la théorie de la relativité, des mathématiques.

Dans le sillon de cette réflexion collective ont été créées plusieurs unités d'enseignement en troisième année de licence de mathématiques, comme « Sciences par le Texte », « Épistémologie mathématique », ou « Histoire des Mathématiques ». Dans l'unité « Sciences par le Texte » par exemple, les enseignant·e·s-chercheur·e·s invitent leurs étudiant·e·s à se pencher sur des textes fondateurs originaux des théories qu'ils découvrent par ailleurs simultanément -mais sans considération de leur genèse- dans d'autres unités mathématiques, ce qui les aide à approfondir et enrichir leur compréhension de ces théories complètement nouvelles pour eux.

Un stage d'histoire des mathématiques est organisé chaque année conjointement avec l'IREM de Besançon. Ouvert à tous les publics, ce stage accueille principalement des professeur·e·s de mathématiques du second degré et quelques professeur·e·s de physique ou de philosophie. Les thèmes choisis peuvent en effet servir à la réflexion sur l'utilité de l'histoire des mathématiques, récemment introduite dans les programmes des lycées.



▲ Dictionnaire mathématique de J. Ozanam, 1691 - le livre le plus ancien du fonds de la bibliothèque de mathématiques.

Domaine universitaire de La Bouloie

UNIVERSITÉ
DE FRANCHE-COMTÉ
BESANÇON

■ Université de Franche-Comté / UFR, instituts

- 1 - UFR Sciences juridiques, économiques, politiques et de gestion, SJEPC
- 2 - UFR Sciences et techniques, ST
- ③ - **Laboratoire de mathématiques de Besançon, LmB**
- 4 - Observatoire des sciences de l'univers
- 5 - UFR Staps
- 6 - IUT Besançon-Vesoul / Bibliothèque IUT
- 7 - Institut FEMTO-ST
- 8 - Institut supérieur d'ingénieurs de Franche-Comté, ISIFC

■ Université de Franche-Comté / Services

- 9 - Bibliothèque universitaire Sciences et sports
- 10 - Bibliothèque universitaire Proudhon, droit et économie
- 11 - Maison des étudiants, MDE
- 12 - Service universitaire de médecine préventive et de promotion de la santé, SUMPPS-Campus santé

■ UBFC, Université Bourgogne Franche-Comté

■ Services CROUS

- 13 - Restaurant universitaire Lumière
- 14 - Restaurant universitaire le Petit Bouloie
- 15 - Résidences universitaires
- 16 - Direction régionale du CROUS BFC



(Lm^B)

■ 16 route de Gray F-25030 Besançon cedex
 ■ tél. +33 (0)3 81 66 63 40
 ■ <http://lmb.univ-fcomte.fr>



(Lm^B)



laboratoire de mathématiques de besançon
 UFC • UBFC • CNRS • UMR 6623

Direction de la publication

Christophe Delaunay

Comité de rédaction

Clément Dombry, Émilie Dupré, Camelia Goga,
 Florence Lancien / LmB
 Fanny Ajak / UBFC

Crédits photos

Ludovic Godard, Georges Pannetton / uFC
 Marc Le Mené, Marion Dumont

Design graphique

Bouteiller communication Besançon

Impression

L'Imprimeur Simon - Ornans
 Nombre d'exemplaires : 1000
 Juin 2021

Remerciements à la Région Bourgogne Franche-Comté,
 au CNRS, à UBFC, Université Bourgogne Franche-Comté,
 à l'uFC, université de Franche-Comté
 et à leurs services communication.

Les mathématiques à Besançon

laboratoire de mathématiques de besançon
UFC • UBFC • CNRS • UMR 6623

→ **formation
et recherche**

-
- 16 route de Gray
F-25030 Besançon cedex
 - tél. +33 (0)3 81 66 63 40
 - <http://lmb.univ-fcomte.fr>

**(Lm^B)
25ans!**