

Portraits IRIF, 2021-22

Nouveaux et nouvelles arrivantes

Mirna Džamonja, lauréate d'une bourse individuelle Marie CURIE.....	2
Pierre-Evariste Dagand, chargé de recherche CNRS.....	5
Matěj Stehlík, professeur en informatique à Université Paris Cité.....	7
Mohammed Foughali, maître de conférences à Université Paris Cité.....	10
Guillaume Geoffroy, maître de conférences à Université Paris Cité.....	13
Simon Apers, CNRS Research Scientist.....	16
Sylvain Douteau, maître de conférences à Université Paris Cité.....	19
Lauren K. Williams, en visite pour une année.....	22
Marie Albenque, directrice de recherche au CNRS.....	24

Doctorantes et doctorants

Baptiste Louf, lauréat d'un prix solennel de thèse de la chancellerie des Universités de Paris.....	26
Jonas Landman, lauréat d'un prix solennel de thèse de la chancellerie des Universités de Paris.....	29
Gaëtan Douéneau-Tabot, lauréat de deux prix étudiant.....	32
Abhishek De: A look into infinite proofs.....	34
Victor Lanvin, lauréat d'un prix de thèse Génie de la Programmation et du Logiciel 2022.....	36
Farzad Jafarrahmani: About mathematical logic.....	39

Mirna Džamonja, lauréate d'une bourse individuelle Marie CURIE

Intellectuelle engagée et internationale, elle visite pour la première fois la France à l'âge de 17 ans. Depuis, elle rêvait de revenir s'y installer et d'y faire sa carrière. Rencontre avec Mirna DŽAMONJA, lauréate d'une bourse individuelle Marie CURIE obtenue dans le cadre du programme H2020. **Mirna DŽAMONJA rejoint l'IRIF pour une durée de 2 ans à titre de personnel CNRS.**



« Je me réjouis de l'arrivée de Mirna à titre personnel et pour l'IRIF : c'est une chance pour nous d'accueillir une chercheuse de son envergure. Son projet Marie Curie ouvre des perspectives de riches collaborations interdisciplinaires à l'intersection de l'informatique fondamentale et de la logique mathématique, autour de questions essentielles pour les deux disciplines. »

Sylvain SCHMITZ, Professeur d'informatique à l'IRIF | Pôle Automates, systèmes et vérification – Équipes : Automates et applications ; Modélisation et vérification. Sylvain SCHMITZ sera l'hôte à l'IRIF de Mirna DŽAMONJA.

Pouvez-vous vous présenter succinctement ?

Je suis née en ex-Yougoslavie, dans la ville de Sarajevo où j'ai aussi fait mes études (Université de Sarajevo). J'ai suivi un cursus dans un lycée spécialisé en informatique et en mathématiques. Dès l'âge de 12 ans, je participais à mes premières compétitions internationales en mathématiques. Puis j'ai effectué mon Master et mon Doctorat à l'Université du Wisconsin-Madison, aux États-Unis.

Mes opportunités de carrière m'ont amenée en Israël, à l'Université Hébraïque de Jérusalem (2 ans), de retour à l'Université du Wisconsin-Madison, aux États-Unis (3 ans) et à l'Université d'East Anglia en Angleterre (22 ans) où j'ai été professeure titulaire et la 7e femme dans la totalité du Royaume-Uni à être nommée professeure en mathématiques pures. C'est une grande fierté pour moi ! Puis le Brexit a changé ma vision de l'Europe. J'ai donc décidé de quitter mon poste de titulaire en Angleterre et de m'installer en France où j'ai été associée à l'IHPST à l'Université Panthéon-Sorbonne (et chercheuse dans l'Institut de Mathématiques de l'Académie des Sciences à Prague, République Tchèque).

Quelles difficultés avez-vous rencontré lors de votre parcours ?

La plus grande difficulté, je dirais, est de venir d'un pays qui est entré dans une guerre civile. Cela m'a beaucoup affectée, même si je ne vivais pas sur place. En termes plus pratiques, cela a rendu mes voyages plus difficiles à cause de mon passeport et à cause des visas qu'il fallait obtenir. En 1995, j'ai obtenu le passeport belge, ce qui a facilité mes déplacements.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Je travaille sur la logique mathématique et ses connexions avec l'informatique et avec la combinatoire, aussi bien qu'avec la philosophie des fondements logiques de mathématiques. Ce qui m'intéresse, c'est de faire le pont entre les mathématiques et l'informatique et, dans une certaine dimension, la philosophie. Je veux comprendre comment réfléchit un ordinateur par rapport à un mathématicien ! Mon intérêt envers ma discipline est arrivé très tôt. Ma mère enseignait les mathématiques, j'étais donc entourée de livres de mathématiques et je m'amusais à résoudre les exercices qu'ils contenaient.

Qu'est-ce que le programme H2020 et pourquoi y avoir déposé votre candidature ?

Le programme Horizon a lieu tous les 5 ans, je suis financée par sa version 2020 (H2020). Le programme Marie-CURIE Réintégration, dont j'ai bénéficié plus spécifiquement, apporte un soutien individuel aux chercheurs qui ont un poste en dehors de l'Union Européenne et veulent intégrer le monde de la recherche dans l'UE. Cette démarche correspond exactement à ce que je souhaite faire, c'est-à-dire concentrer le reste de ma vie à la recherche en occupant un poste de chercheur dans l'UE. J'avais déjà entamé des connexions avec l'IRIF, où j'avais notamment assisté à des séminaires, et j'avais eu l'occasion de travailler avec Sylvain SCHMITZ sur des problématiques qui nous intéressent tous les deux. Nous avons alors écrit un premier article ensemble, en collaboration avec Philippe SCHNOEBELEN de l'ENS Paris-Saclay. L'article portait sur la notion de beau pré-ordre, qui est étudiée par les informaticiens aussi bien que par les logiciens en mathématiques. Sylvain est mon hôte à l'IRIF.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF dans le cadre de ce projet ?

Je vais me concentrer sur deux problèmes différents mais connectés. Dans un premier temps, la résolution d'une conjecture datant de 1975 (c'est mon rêve de la résoudre !). Deuxièmement, sur le développement de nouvelles logiques pour comprendre le transfert des propriétés logiques dans le contexte des limites combinatoires. Ce sera mon travail pour les deux prochaines années. Plus largement, j'ai aussi comme projet de m'intégrer dans la vie scientifique française et d'y apporter ma contribution grâce à mon parcours.

Quelles seraient vos prochaines étapes ?

Pendant ces deux ans, j'aimerais tenter un concours du CNRS afin de pouvoir y rester de façon permanente et peut-être, qui sait, avoir d'autres projets avec l'IRIF ! Je compte sur le soutien de l'UE pour voir d'autres projets éclore.

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

À la sortie de mon doctorat, j'ai intégré l'Université Hébraïque de Jérusalem. Là-bas, je me suis sentie perdue et confuse, petite parmi toutes ces grandes personnes. Puis j'ai rencontré le professeur Saharon SHELAH, l'un des plus célèbres mathématiciens du monde. Il a tout de suite su me mettre à l'aise grâce à sa facilité de communication et il m'a partagée sa vision modeste du monde selon laquelle il n'y a pas de « grands » ou de « petits ». Malgré son statut prestigieux, il valorise la contribution de tous.

Un livre à recommander ?

Les cigognes sont immortelles de Alain MABANCKOU où il explique dans sa voix d'enfant la guerre civile dans son pays : le Congo-Brazzaville. C'est un livre qui m'a beaucoup touchée car il explique les racines de la dictature où ce pays se trouve en ce moment et depuis cette guerre.

Une musique que vous souhaiteriez partager ?

Encore sur l'idée de métissage : la chanson Englishman/African in New York interprétée par STING et SHIRAZEE.

Une oeuvre d'art ?

La Joconde de Léonard DE VINCI à cause de tous les mystères qu'elle renferme et de son intemporalité. J'ai eu l'occasion de revoir l'oeuvre de près cet été, il y avait si peu de monde dans le musée.

Un film ?

No Man's Land (2001) un film belgo-bosniaque réalisé par Danis TANOVIC. Il explique la situation politique de la Bosnie, notre pays natal. Ce film a une manière très poignante de rappeler l'insécurité de la situation présente en Bosnie.

Pierre-Evariste Dagand, chargé de recherche CNRS

« Hirsute », « whiskylogiste », « enjoué » et « perfectionniste » sont les premiers mots qui viennent à ses proches pour décrire Pierre-Evariste DAGAND. Rencontre avec celui qui vient de rejoindre l'IRIF en tant que **chargé de recherche CNRS**.



« Ce qui me passionne, c'est l'acte de programmer : décrire ce que l'on veut faire faire à l'ordinateur, en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'un processus physique qui réalise ce calcul (temps de calcul ou espace mémoire mais aussi fuites électro-magnétiques, etc.). Le langage de programmation est à la fois le médium entre l'intuition humaine et l'ordinateur mais aussi, de plus en plus, un support pour partager des constructions formelles entre humains. » Pierre-Evariste DAGAND, chargé de recherche CNRS | Pôle Preuves, programmes et systèmes - Équipe Analyse et conception de systèmes.

Parlez-nous de votre parcours

J'ai grandi dans une petite ville de l'Est de la France, Sermaize-les-Bains. J'ai fait mes classes préparatoires au Lycée Henri Poincaré de Nancy, comme Jean-Jacques Lévy (mais à « quelques » années de distance) ! Ensuite, j'ai intégré l'École Normale Supérieure de Cachan – Ker Lann (qui a conquis son indépendance depuis, devenant l'ENS Rennes).

J'ai profité du programme Erasmus pour effectuer ma première année de Master à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Je suis ensuite retourné à Rennes pour terminer mon Master. Par pure coïncidence (non, je n'ai pas de compte en Suisse !), j'ai fait mon stage de deuxième année de Master à l'ETH Zürich, dans le groupe de Timothy 'Mothy' Roscoe qui était alors en train de développer le système d'exploitation Barrelfish : ce fut ma première grande aventure scientifique et une formidable aventure humaine.

Pour ma thèse, je voulais me concentrer sur les aspects fondationnels de la programmation sans sacrifier le travail d'implémentation alors j'ai rejoint Conor McBride à l'Université de Strathclyde (Glasgow, Écosse). J'y ai appris énormément sur le whisky et, indirectement, sur la théorie des types dépendants.

En 2014, je suis rentré en France pour faire mon post-doc dans l'équipe Gallium. À la fin de mon année de post-doc, j'ai obtenu un poste de Chargé de Recherche CNRS au LIP6 (Sorbonne Université), que j'ai occupé jusqu'en avril 2021.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Ce qui me passionne, c'est l'acte de programmer : décrire ce que l'on veut faire faire à l'ordinateur, en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'un processus physique qui réalise ce calcul (temps de calcul ou espace mémoire mais aussi fuites électro-magnétiques, etc.). Le langage de programmation est à la fois le médium entre l'intuition humaine et l'ordinateur mais aussi, de plus en plus, un support pour partager des constructions formelles entre humains. Avec des outils comme l'assistant de preuve Coq, on assiste à cette convergence entre « langage à destination des ordinateurs » et « langage à destination des humains » : à mon sens, cela ouvre des perspectives fascinantes.

D'où vient votre intérêt pour ce domaine ?

Mon intérêt pour l'informatique est arrivé très tôt ! Mon père était professeur de technologie et il a découvert l'informatique dans les années 80. J'ai donc baigné dedans dès ma naissance. Puis Internet est arrivé à la maison quand j'avais une dizaine d'années. Ce fut une révélation : il y avait ce sentiment diffus que, au-delà du fait technique, Internet nous donnait la possibilité de changer le

monde. Il ne faut pas oublier que cela se passe au millénaire précédent : par exemple, je me souviens des remontrances de mes parents quand ils ont reçu une facture téléphonique de 2 000 Francs parce que j'étais resté connecté 1h30 ! On a certainement perdu de cette joyeuse naïveté aujourd'hui, avec les affaires comme le scandale Facebook-Cambridge Analytica.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

Au-delà de la poursuite de mon projet de recherche, je trouve qu'il pousse ici de la très belle science, que ce soit sur les aspects programmation ou vérification. Je suis ravi d'avoir l'opportunité de voir ces idées évoluer au quotidien, dans leur « habitus » dirait Jean Krivine. Par ailleurs, j'ai le sentiment qu'un certain nombre de contributions développées initialement à l'IRIF sont en train de changer radicalement mon domaine de recherche : dans mes rêves les plus fous (ou bien est-ce mes nuits d'insomnie ?), je caresse l'idée d'une revisite post-moderne du « Proofs and Types », façon « Graduate Texts in Computer Science », qui synthétiserait l'état actuel de nos connaissances. Le laboratoire serait le lieu idéal au développement d'un tel projet.

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

À la conférence SOSP, deux chercheurs (dont l'un fut récipiendaire du prix Turing !) ont pour rituel d'installer chaque soir une table avec une bouteille de whisky et une bouteille de scotch : tout le monde peut se joindre à eux et se voir ainsi servir un verre par une sommité du domaine, y compris le modeste étudiant en Master que j'étais alors. Si mes souvenirs sont bons (et ils sont quelque peu embrumés), Tom Ball est arrivé à la suite de Barbara Liskov, s'est assis au piano et à enchaîné les tubes de Pop avec le public de chercheurs, reprenant les tubes en cœur. Humainement, cette vision d'une communauté scientifique joyeusement inclusive m'a beaucoup plu.

Un livre à recommander ?

Le Cri d'Archimède d'Arthur Koestler, qui m'a été conseillé par mon père bien avant que je n'envisage une carrière scientifique. Pour moi, ce livre est un baume pour l'égo scientifique (et il devrait être vendu en pharmacie). Koestler développe l'idée que le rôle du scientifique est essentiellement celui d'un catalyseur mais que les concepts sous-jacents sont inexorablement « dans l'air du temps ». Dans nos domaines, on peut être tenté par la fascination du « génie », qui peut tourner à une forme d'idolâtrie pour les « premiers de cordée ». Mais, sans Einstein, il y aurait eu Lorentz ou Poincaré ou un autre chanceux à l'esprit bien préparé. À l'inverse, je trouve le baume Koestler libérateur car il met l'accent sur le travail d'extraction et de diffusion des idées, qui reste notre quotidien à tous (quelque « disruptif » que l'on soit).

BIOGRAPHIE EXPRESS

2021 : Arrivée à l'IRIF

2010 : Arrivée à Glasgow et plongée dans la théorie des types dépendants

2000 : Installation de Debian 2.2

1990 : Parties de Frogger sur Commodore 64

Matěj Stehlík, professeur en informatique à Université Paris Cité



Fasciné par les langues, Matěj Stehlík a présenté des exposés scientifiques en espagnol, portugais, tchèque, français et anglais. Il se dit curieux de tout mais expert en rien. Il aime autant explorer les liens entre les théorèmes que l'étymologie des mots et les relations parfois surprenantes qu'ils peuvent avoir entre eux. Rencontre avec celui qui vient de rejoindre l'IRIF en tant que **professeur en informatique à l'Université Paris Cité**.

« Je n'ai pas tout de suite aimé les mathématiques, c'est plutôt la physique qui m'intéressait. Mon intérêt envers les maths a véritablement émergé après avoir quitté la Tchéquie. J'ai trouvé qu'en Angleterre la façon d'enseigner cette matière était bien plus intéressante et motivante. » Matěj Stehlík, professeur en informatique à l'Université Paris Cité | Pôle Algorithmes et structures discrètes - Équipe Théorie et algorithmique des graphes.

Parlez-nous de votre parcours

J'ai beaucoup bougé ! Je suis né à Prague mais j'ai déménagé en Angleterre en 1991, lorsque j'avais 14 ans. Là-bas, j'ai fait mes études à Cambridge et à Londres où je suis resté jusqu'en 2003, après ma thèse. Ensuite, direction le Mexique où je suis resté 3 ans d'abord en tant que post-doctorant en mathématiques puis en tant que chercheur permanent à l'Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Après avoir quitté le Mexique, j'ai fait une série de post-docs courts dans différentes villes : à Prague (Université Charles), à Paris (LIAFA), à Grenoble (G-SCOP), à Kaohsiung en Taïwan (Université nationale Sun Yat-sen) et à Fortaleza au Brésil (Université fédérale du Ceará). J'ai même travaillé comme consultant dans une entreprise américaine pendant un certain temps. En 2010, j'ai obtenu un poste de maître de conférences à l'Université Grenoble Alpes (UGA) où je suis resté 11 ans. C'est un record ! Finalement cette année, en 2021, j'ai été classé premier au concours des postes de professeurs et je suis venu m'installer à Paris. C'est une ville que j'aime beaucoup, autant pour l'aspect scientifique que pour toutes les autres richesses qu'elle a à offrir.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Je travaille en théorie des graphes, un domaine à la frontière entre l'informatique et les mathématiques. Les graphes sont des structures mathématiques qui permettent de modéliser les relations binaires entre les objets. Des graphes, il y en a partout autour de nous ! Les réseaux sociaux, les réseaux de transport, le Web etc. ... Par exemple, se demander comment aller de l'IRIF au jardin du Luxembourg revient finalement à résoudre des problématiques en théorie des graphes. La plupart de mes recherches concernent le nombre chromatique des graphes, c'est-à-dire, le plus petit nombre de couleurs qu'il faut pour colorier les sommets de sorte qu'aucune arête ne soit monochrome. Le plus célèbre des théorèmes en théorie des graphes affirme que le nombre chromatique de tout graphe planaire est inférieur ou égal à 4. Il s'agit du théorème des 4 couleurs. Il a été prouvé à l'aide d'un ordinateur mais aucune preuve sans ordinateur n'est connue à ce jour.

Vous êtes professeur en informatique à l'Université Paris Cité. Qu'enseignez-vous ?

Je donne deux cours ce semestre : un cours d'introduction à la programmation en Python de niveau L1 (avec TP et TD) et un cours d'algorithmique des graphes pour les étudiants en L3. Le but de ce cours est de présenter les algorithmes de graphes les plus classiques : les parcours en largeur et profondeur, les algorithmes du plus court chemin, arbres couvrants de poids minimum, flot max...

Quelles portes votre cours permet-il d'ouvrir aux étudiants ?

Comme je l'ai dit précédemment, les graphes sont partout autour de nous, et j'espère que ce cours aidera les étudiants à reconnaître les situations dans lesquelles il est utile de penser en termes de graphes. Cette perception peut être très bénéfique. L'algorithme PageRank, par exemple (utilisé par Google pour classer les pages web) est un algorithme de graphes. D'ailleurs, j'ai connu plusieurs étudiants qui, après un master ou une thèse en théorie des graphes, ont travaillé ensuite pour Google ou Facebook.

D'où vient votre passion pour ce domaine ?

Je n'ai pas tout de suite aimé les mathématiques, c'est plutôt la physique qui m'intéressait. Mon intérêt envers les maths a véritablement émergé après avoir quitté la Tchéquie. J'ai trouvé qu'en Angleterre la façon d'enseigner cette matière était bien plus intéressante et motivante. Or à Cambridge, pour étudier la physique, il fallait d'abord étudier les maths. C'est à Cambridge que j'ai été en contact pour la première fois avec les graphes. Dans ma façon de penser, je suis quelqu'un de très visuel. Cette discipline m'a donc immédiatement plu. Aujourd'hui, je m'intéresse surtout aux liens entre les graphes et la topologie, c'est-à-dire la branche des mathématiques qui s'intéresse aux propriétés des espaces invariants quand ils sont déformés continument. Encore là, il s'agit d'un concept très visuel ! Ce que j'apprécie particulièrement en théorie des graphes, c'est que l'on peut avoir des conjectures qui sont très simples à énoncer (mais beaucoup plus complexes à prouver). Ce qui n'est pas le cas de certains domaines plus traditionnels des mathématiques dans lesquels il faut parfois étudier pendant des années pour seulement comprendre la conjecture. La théorie des graphes a l'avantage d'être un domaine assez jeune lié au développement de l'informatique. Au départ, c'était une simple collection de théorèmes mais la discipline s'est beaucoup développée depuis les 50 dernières années. Le fait que Laszlo Lovász, l'un des acteurs majeurs du domaine, soit co-lauréat du prix Abel 2021 (l'équivalent du prix Nobel en mathématiques) montre que la théorie des graphes est désormais fermement établie et respectée. C'est très inspirant et motivant pour les années à venir !

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

Pour le moment, je souhaite continuer à m'amuser dans la recherche et l'enseignement. Sur le long terme, je souhaite initier des projets avec des collègues de l'IRIF et aussi au niveau international. J'aimerais apprendre de nouvelles choses. Récemment, je me suis par exemple intéressé aux applications des méthodes topologiques qui permettent de donner des preuves d'impossibilité aux algorithmes distribués. Vaste sujet sur lequel il me reste encore beaucoup à découvrir !

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

Il y a 6 ans, à une conférence à laquelle j'avais été invité à donner une présentation, les organisateurs m'ont demandé de leur fournir un abstract de mon exposé. Je leur avais envoyé un résultat que je n'avais pas encore prouvé en me disant que j'avais encore 2 mois pour le faire. Mais après 2 mois de travail acharné, je n'avais toujours pas prouvé le résultat et j'ai dû admettre que mon travail n'avait pas abouti. C'est seulement 5 ans plus tard que j'ai finalement réussi à le prouver ! Cette expérience personnelle confirme ce que tous les chercheurs savent déjà : les résultats d'une recherche ne se planifient pas.

Un livre à recommander ?

Pour les passionnés d'Histoire, je recommande le livre "Histoire d'un Allemand" de Sebastian Haffner. Ce livre m'a été donné par mon directeur de thèse. Il avait trouvé un manuscrit rédigé par son père et a décidé de le publier. Dans cet ouvrage, l'auteur raconte ses expériences personnelles

juste avant l'instauration du nazisme en Allemagne (1914-1933). Ce récit m'a beaucoup marqué et m'a aidé à comprendre cette période de turbulence avant la prise de pouvoir des nazis. Pour une lecture plus légère, je recommande les histoires complètement absurdes sur fond d'humour noir du russe Daniil Harms.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2021 : Professeur d'informatique à l'Université de Paris / IRIF

2010 : Maître de conférences à l'UGA, Grenoble

2005 : Chercheur à l'UNAM, México

2000 : Rédaction de la thèse « Critical Graphs » à l'Imperial College de Londres

1995 : Licence à Cambridge

Mohammed Foughali, maître de conférences à Université Paris Cité



Passionné par les sciences, Mohammed Foughali (communément appelé « Mo ») a goûté aux plaisirs des métiers de l'enseignement et de la recherche il y a quelques années. Aujourd'hui, pour rien au monde il ne changerait de voie. Rencontre avec celui qui a rejoint l'IRIF en tant que **maître de conférences à l'Université Paris Cité**.

« Robert G. Ingersoll a dit "as more people become more intelligent, they care more for teachers and less for preachers". Être enseignant-chercheur est, pour moi, un choix de camp. Dans un monde rongé par la désinformation et les absurdités, mieux vaut faire partie de ceux qui essaient d'incarner la raison. » Mohammed Foughali, maître de conférences à l'Université Paris Cité | Pôle Automates, structures et vérification - Équipe Modélisation et vérification.

Parlez-nous de votre parcours

À la base, je suis ingénieur en électronique. J'ai soutenu en 2008 à l'Université de Khenchela en Algérie. Par la suite, j'ai enseigné la physique-chimie de 2008 à 2011 au lycée. Cette période a marqué une métamorphose profonde à laquelle l'enseignement de ces matières a largement contribué. À travers les années, je me suis irréversiblement éloigné de la construction habituelle d'un citoyen algérien typique dont la vie gravite autour de la religion et de la spiritualité, en faveur d'un rapprochement fusionnel de la science et de la rationalité. Ainsi, ces quelques années d'enseignement ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui : un scientifique absorbé par la quête du savoir et de sa transmission. À ce moment-là, je savais déjà que je voulais continuer à enseigner le restant de ma vie. Mes élèves m'ont incité à plonger dans ce processus permanent de chercher à comprendre et faire comprendre. Chaque jour, j'essayais de leur communiquer ma passion.

J'ai donc continué dans cette voie : de 2011 à 2013, j'ai enseigné les mathématiques, toujours au lycée. Les mathématiques sont à la fois une invention et une découverte. Elles font parler les deux grandes disciplines scientifiques (la physique et la chimie). Cette « trinité » fraye le seul et unique chemin fiable à travers lequel notre espèce peut espérer communiquer avec l'Univers et construire un savoir authentique vis-à-vis de son fonctionnement.

En 2013, j'ai été admis à l'Université Paul Sabatier de Toulouse pour y faire un master en Ingénierie des systèmes temps réels. Cette année a été l'année la plus difficile mais aussi la plus instructive de ma carrière étudiante. J'ai beaucoup appris et j'ai réussi à avoir mon année en me classant 3ème de ma promotion.

En 2014, j'ai poursuivi ma seconde année de master en systèmes intelligents et robotique à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6). Fasciné par l'interaction entre les différentes sous-disciplines scientifiques, j'ai effectué un stage au laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS) à Toulouse, où j'ai pu aborder un travail connectant des théories mathématiques élégantes que j'affectionne (e.g. les réseaux de Petri) à la complexité logicielle des systèmes autonomes. À l'issue de ce stage, on m'a proposé une thèse que j'ai commencée dès octobre 2015 et soutenue en décembre 2018. Pendant ces 3 années, j'ai tout fait pour continuer à enseigner et j'ai poursuivi mes activités en tant qu'ATER de septembre 2018 à août 2019. Alors que la charge d'enseignement était énorme (240 heures sans compter les activités ne relevant pas de l'enseignement classique), cette année était probablement - et paradoxalement - une de mes meilleures années de recherche avec 3 publications à l'appui. J'étais plus déterminé que jamais à poursuivre cette voie.

De 2019 à 2021, j'ai fait un post-doc à Verimag, Université Grenoble Alpes. C'était une période

globalement assez dure à cause de la pandémie durant laquelle j'ai publié mais je n'ai guère enseigné. Finalement, j'ai passé les concours en 2021 et j'ai pu enfin reprendre l'enseignement en tant que maître de conférences à l'Université Paris Cité.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

En ce moment, j'essaie de développer des méthodes mathématiques pour pouvoir vérifier des systèmes informatiques quelconques. Mes travaux rejoignent mon intérêt pour les interactions entre les différentes branches scientifiques. Je m'interroge sur le fonctionnement des systèmes cyber-physiques (CPS) : comment garantir que ces systèmes fonctionnent comme on veut ? Il existe une multitude de méthodes de vérification qui se heurtent, néanmoins, au fameux problème du passage à l'échelle. Mon ambition consiste à développer des méthodes « holistiques » qui permettront de vérifier des CPS ou autres systèmes informatiques dans leur globalité (une sorte de « theory of verifying anything » avec un clin d'œil au passage au grand Hawking). Il s'agit d'un « rêve » probablement irréaliste, mais pourquoi pas.

Quels sont les concepts clés abordés dans vos travaux ?

Pour l'instant, je travaille avec des méthodes plutôt classiques en relavant le défi de les utiliser sur des systèmes réels. Cela nécessite une interdisciplinarité importante : des méthodes formelles au systèmes temps réels en passant par le génie logiciel. Mon approche se nourrit de la nécessité d'une vision globale qui permet de faire évoluer puis faire travailler des méthodes hétérogènes (venant de communautés différentes) ensemble afin d'établir un cadre de vérification qui passera à l'échelle. Cette approche est au cœur de mes publications récentes, notamment l'article de la revue Journal of Systems Architecture en 2020 ainsi qu'un nouvel article dans la revue Frontiers in Robotics and AI qui apparaîtra prochainement.

D'où vient votre passion pour ce domaine ?

Ma passion pour la science en général et l'informatique (qui, d'ailleurs, constitue une facette flagrante de notre compréhension partielle de l'Univers) remonte à très loin. Elle fait partie de ma manière d'être. Le plaisir que l'enseignement et la recherche me procurent étant unique, je me sens naturellement à ma place au sein de cette communauté.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

Dans la direction des fameuses approches holistiques, j'ai commencé à travailler avec Eugène Asarin (IRIF), plus précisément dans le cadre du projet franco-japonais CyPhAI. L'une des grandes problématiques à laquelle nous nous intéressons est comment faire en sorte que les systèmes cyber-physiques CPS incluant des composants d'intelligence artificielle puissent être vérifiés ? Ce sujet est d'autant plus important qu'il a déjà fait couler beaucoup d'encre, notamment avec l'accident d'un UBER autonome responsable de la mort d'une cycliste en 2018.

Ce type de projet avec des applications concrètes a une grande importance pour moi. D'un point de vue enseignement, à titre d'exemple, j'ai réalisé au fil des années que les étudiant·es se détachent de la théorie dès qu'ils n'en voient pas l'utilité. Dans la psychologie de l'éducation, les théoriciens parlent alors de "utility values" — montrer systématiquement un apport concret de la théorie augmente sensiblement le taux de réussite dans un cours, surtout dans les cours de mathématiques.

Quelles seraient les prochaines étapes de votre aventure professionnelle ?

Je songe à passer mon HDR dans 5 ans (encore un rêve probablement irréaliste). J'aspire à continuer à faire avancer ma carrière en enseignement et devenir professeur des universités.

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

Lors d'un passage expéditif dans l'industrie, j'ai suivi une formation sur des protocoles Fieldbus dans une compagnie privée. Avec ma barbe de 2 jours, je croise le PDG dans les couloirs qui m'a immédiatement ordonné de la raser. J'ai trouvé cela drôle et... un peu ridicule (quel intérêt une tierce personne devrait-elle avoir avec la coupe, ou en l'occurrence l'absence de coupe de ma barbe ? En toute logique, aucun). D'une manière générale, je suis assez dubitatif, voire hostile envers des règles et des constructions, bien que courantes, souvent insensées et/ou inutiles (je trouve par exemple que le vouvoiement et les formules de politesse à rallonge au sein de la communauté scientifique sont synonymes de barrières de communication littéralement fatigantes). En tout cas, la règle dite « zéro barbe » a confirmé que je ne pouvais pas rester dans le privé (alors que, ironiquement, je me rase régulièrement en réalité) !

Une musique à recommander ?

Souvent, je préfère quand les voix humaines n'interfèrent pas avec. Cette tendance est répercutée par une playlist intitulée « Shut Up And Listen » que j'ai construite sur mon téléphone. On y trouve notamment le morceau "Fuori dal mondo", digne de son nom, une merveille du compositeur et pianiste italien Ludovico Einaudi, également la bande originale de l'excellent film britannique This is England.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2021 : Maître de conférences à l'Université Paris Cité / IRIF

2019-2021 : Postdoc à Verimag, Université Grenoble Alpes

2018-2019 : ATER à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA)

2015-2018 : Doctorant et doctorant chargé d'enseignement à l'INSA Toulouse

2015 : Master en systèmes intelligents et robotique à Paris 6

2011-2013 : Professeur de mathématiques au lycée

2008-2011 : Professeur de physique-chimie au lycée

2003 – 2008 : Diplôme d'ingénieur en électronique

Guillaume Geoffroy, maître de conférences à Université Paris Cité



Co-fondateur de l'association Pi Day, consacrée à la diffusion et à la promotion des mathématiques, **Guillaume Geoffroy** est très impliqué dans les projets pédagogiques valorisant l'accès aux sciences au public. Rencontre avec celui qui vient de rejoindre l'IRIF en tant que **maître de conférences à l'Université Paris Cité**.

"L'avantage dont disposent les mathématiques et l'informatique théorique par rapport aux autres sciences, c'est qu'il n'y a pas besoin de beaucoup de matériel pour les pratiquer et les faire pratiquer : il suffit d'avoir de l'imagination !" Guillaume Geoffroy, maître de conférences à l'Université Paris Cité | Pôle Preuves, programmes et systèmes - Équipe Algèbre et calcul.

Parlez-nous de votre parcours

Avant d'arriver à l'IRIF, j'ai effectué un post-doc de 2 ans à l'Université de Bologne en Italie. Cette expérience qui m'a permis de commencer à m'intéresser à la **sémantique approchée** et à la **sémantique des programmes probabilistes**. C'était intéressant de changer de thématique, même s'il s'agissait en vérité d'un changement tout relatif : la réalisabilité classique (mon expertise initiale) n'est après tout qu'un autre aspect de la sémantique des programmes. J'apprécie de travailler désormais sur un sujet avec une communauté plus large, et peut-être plus facile à partager car un peu plus concret.

De 2015 à 2019, j'étais en thèse à l'Université Aix-Marseille à faire de la **réalisabilité classique**. Je me considère chanceux : pour beaucoup de gens la thèse est une étape douloureuse, mais j'ai atterri au bon endroit avec les bonnes personnes. L'ambiance était très bonne : nous étions un groupe d'amis plus qu'un groupe de camarades de thèse.

De 2013 à 2014, j'ai fait un master à ce qui était à l'époque l'Université Paris Diderot, en **logique mathématiques et fondements de l'informatique**. Nous avions cours aux étages juste en dessous de l'IRIF : je me rappelle bien les soucis qu'on avait déjà à l'époque pour circuler dans le bâtiment Sophie Germain !

J'ai profité de ce master pour faire un **stage de quatre mois en Uruguay**. C'était la première fois que je passais plus de 2 semaines dans un pays étranger, et je suis arrivé sans parler pratiquement un mot d'espagnol : je recommande l'expérience !

Aujourd'hui, je suis **maître de conférences à l'Université Paris Cité** depuis le 1er septembre 2021. J'aime bien partager mon temps entre recherche et enseignement. Ce semestre, j'enseigne en troisième année de licence, dans un **cours sur le langage C et les appels système Unix**.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

En ce moment, je travaille, entre autres, sur la **sémantique des programmes probabilistes**. Mon travail consiste à trouver les bons objets formels, le bon langage en quelque sorte, pour décrire ce que fait un programme probabiliste.

Pour donner une idée de ce dont il s'agit : imaginez qu'on vous donne un dé, et qu'on vous demande s'il est pipé. Si vous le lancez 100 fois et tirez 80 fois la face six, c'est probablement le cas ! En revanche, si vous obtenez 16 fois un, 21 fois deux, 16 fois trois, 13 fois quatre, 17 fois cinq et 17 fois six, alors il y a des chances que le dé soit équilibré. On peut même quantifier précisément à quel point il est vraisemblable que le dé soit équilibré, en fonction des résultats du tirage : c'est un calcul qui peut se faire à la main, et qui fait partie de la **théorie classique des probabilités**. Toute la question

de la programmation probabiliste, c'est : **comment faire tout cela automatiquement** ? Étant donné un « processus » quelconque (par exemple, lancer le dé 100 fois) et des données (le nombre de fois qu'apparaît chaque face), on voudrait obtenir automatiquement la conclusion (le dé est vraisemblablement pipé, ou bien vraisemblablement équilibré). La difficulté est que cela devrait fonctionner pour des « processus » arbitrairement complexes, et pas simplement des lancers de dés. Cela en fait un objectif lointain et certainement impossible à atteindre dans toute sa généralité, ce qui n'empêche pas qu'on puisse chercher à s'en approcher le plus possible.

Un autre intérêt qui me trotte dans la tête depuis ma thèse porte sur l'**interprétation calculatoire de l'axiome du choix**. L'idée est qu'il y a derrière la réalisabilité (intuitionniste ou classique), une correspondance à plusieurs niveaux entre preuves et programmes. L'un des aspects de cette correspondance c'est qu'on peut écrire une preuve et observer ce qu'elle « fait ». C'est comme si on voyait chaque preuve comme un système d'engrenages, et qu'on regardait ce qu'il se passe quand on les fait tourner. Le problème, c'est qu'il y a certains éléments de preuve que l'on ne sait pas encore interpréter comme des programmes, notamment l'axiome du choix : cela veut dire que si vous prenez une preuve qui utilise l'axiome du choix (c'est le cas de beaucoup de preuves !), et que vous cherchez à la voir comme un engrenage, vous obtiendrez un système dans lequel il manque des pièces : impossible de le faire tourner ! Ce que je cherche à faire, c'est trouver quelles doivent être ces pièces manquantes.

D'où vient votre passion pour ce domaine ?

J'ai toujours été fasciné par les sciences en général : petit, il paraît que je voulais être électricien, « parce que j'aime savoir comment marchent les choses électriques ». J'aime surtout être confronté en permanence à des idées et concepts nouveaux : c'est ce qui m'attire le plus dans la recherche !

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

J'aimerais beaucoup reprendre mes **activités de diffusion scientifique**. En 2015, j'ai co-fondé l'association Pi Day consacrée à la diffusion et à la promotion des mathématiques. Nous produisons notamment des **comédies musicales mathématiques**. Malheureusement, les réalités de la vie, nomade, de jeunes chercheurs et chercheuses nous ont empêché de continuer. C'est une occupation qui me manque, c'est pourquoi j'ai prévu de reprendre l'**organisation de la Fête de la Science à l'IRIF**. En plus des ateliers, les moyens sont nombreux pour faire de la communication scientifique ! Je pense qu'il faut faire faire des activités au public, les faire réfléchir, et pas seulement leur raconter des choses. L'avantage dont disposent les mathématiques et l'informatique théorique par rapport aux autres sciences, c'est qu'il n'y a pas besoin de beaucoup de matériel pour les pratiquer et les faire pratiquer : il suffit d'avoir de l'imagination !

D'un point de vue plus carrière scientifique, j'aimerais pouvoir collaborer sur des projets communs. Un projet a d'ailleurs été commencé sur la programmation probabiliste avec plusieurs autres personnes au labo aussi intéressées par ce sujet. Ensemble, nous essayons à la fois de comprendre les outils dont on dispose maintenant pour parler des programmes probabilistes, et de les étendre.

Quelles seraient les prochaines étapes de votre aventure professionnelle ?

Pour l'instant, je dois surtout encore m'adapter à ma nouvelle situation de maître de conférences avant de penser à la suite. Cela dit, à moyen terme, une des choses qui me plairait serait de m'impliquer dans un **projet logiciel collectif** qui fasse intervenir mes thèmes de recherche. Peut-être quelque chose en rapport avec la programmation probabiliste ?

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

J'étais en M2 et je cherchais à faire un stage. Par hasard, j'ai rencontré quelqu'un qui travaillait sur la réalisabilité classique. Je lui ai dit que je voulais étudier ce sujet, et très spontanément, il m'a répondu « mais tu veux avoir un travail un jour ? ». C'était la première fois que je me trouvais confronté à l'idée que trouver du travail dans la recherche ce n'était pas du tout acquis !

Un livre à recommander ?

Un livre que je recommanderai, au moins aux amateurs de science-fiction, c'est « Dreamsnake » de Vonda McIntyre. C'est l'histoire d'une guérisseuse qui parcourt un monde postapocalyptique à la poursuite d'une énigme biologique : comment naissent les serpents de rêve ? Pour moi, c'est un exemple rare d'une histoire parfaitement racontée, du début à la fin.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2021 : Maître de conférences à l'Université Paris Cité / IRIF

2013-2014 : Master à l'Université Paris Cité et stage à Montevideo, Uruguay

2015-2019 : Thèse de doctorat à l'Université Aix-Marseille

2019-2021 : Post-doc à l'Université de Bologne, Italie

Simon Apers, CNRS Research Scientist



Half way to 5th grade, **Simon Apers** wanted to become a medical doctor so he had to change from economics to end up in a class learning about science and mathematics. The reason why he likes this field so much is that it **uses mathematics to solve non-mathematics problems**. Meeting with the one who just joined IRIF as **CNRS Research Scientist**.

« I am looking into how a computer can use quantum mechanics to solve problems faster. It is very natural to use quantum computers to solve “quantum problems” in chemistry or materials science, seeing that the problems are exactly about quantum mechanical properties of a system. However, I am mostly interested in using quantum computers to solve problems that are not quantum related. » Simon Apers, CNRS Research Scientist at IRIF | Pole Algorithms and discrete structures - Team Algorithms and complexity.

Tell us about your career. Have you faced any difficulties?

From 2008 to 2013, I studied at Ghent University where I did a Bachelor and a Master degree in engineering and applied physics. Physics was interesting but I didn't like how sometimes things could not be made precise. The turning point came later on, when I first started to work on my PhD. My supervisor sent me these papers of his, and I thought that the mathematics were very intimidating. I did appreciate how he did make concepts very precise. This is when I realized that I wanted to approach things with mathematical rigour.

In 2018, I did a first postdoc jointly between Inria and CWI Amsterdam (Centrum Wiskunde & Informatica), the national research institute for mathematics and computer science in the Netherlands. During this time I worked with Anthony Leverrier on quantum error correction. I thought this was very interesting. The thing with quantum computing is that it likes to mess things up. This is why we use quantum error correction to make quantum computing a bit more robust. With Ronald de Wolf from CWI I worked on quantum algorithms for graph problems. We showed how a quantum computer can be used to compress or “sparsify” graphs in a certain sense. This is an extremely useful primitive for solving problems on graphs.

I did a second postdoc jointly between CWI Amsterdam and Université Libre de Bruxelles. In Brussels I worked more on quantum walks. These are quantum versions of random walks on graphs, and this is something that e.g. Frédéric Magniez has a lot of expertise on.

In 2021, I started working at IRIF as a CNRS Research Scientist in the pole Algorithms and discrete structures in the team Algorithms and complexity. Members of this team seek to tackle emerging algorithmic challenges and to understand the limitations of novel computational models. In quantum computation, the team tries to better understand the contribution of quantum information to computation, cryptography and communication. It is quite exciting that I can now start thinking more about long term research goals and projects, and I am very much looking forward to working with students on topics related to quantum computing.

I did face some difficulties early on since I wasn't among the top students, my grades were not so good. Because these were the only criteria that people judged you on, I faced a lot of closed doors and rejections in my applications. This was difficult and impactful for me, but it also encouraged me to show that grades are not all that matters. Throughout, my family has always been on my side and with their endless support I made my way to where I am now.

What does your research work consist of?

My research interests focus on **quantum computing**. In particular, I am looking into how a computer can use quantum mechanics to solve problems faster. It is very natural to use quantum computers to solve “quantum problems” in chemistry or materials science, seeing that the problems are exactly about quantum mechanical properties of a system. However, I am mostly interested in **using quantum computers to solve problems that are not quantum related**. The most famous example is how the quantum algorithm by Peter Shor can factor numbers exponentially faster. I want to understand for which other problems we can find such speedups. For example, it would be extremely interesting to find similarly big quantum speedups for problems related to combinatorial and continuous optimization, or machine learning, and this is something that I am currently thinking about.

Where does your interest for theoretical computer science come from?

That’s a good question! I don’t really know... I know that I like mathematics a lot, and graphs. And I really appreciate how you can put these to work to solve actual problems. I remember that at some point I really wanted to be a physicist, because that seemed very cool. Then I thought that maybe I could be a mathematician. But now I have come to my senses, and understand that I really fit best in computer science. Within quantum computing the situation is interesting because you have both physicists and computer scientists, but it is clear that I resonate best with the latter.

What do you wish to develop at IRIF?

I mentioned earlier this problem I am interested in which consist of trying to use quantum computing to solve problem more efficiently. At the same time, thinking about quantum algorithms often gives a new perspective on how to solve classical problems. I am always happy when that happens. At some point, I might also be interested in **going beyond mathematics** and maybe see how to actually implement the projects I have been working on, or think more about practical heuristics for actual quantum computers. I look forward to working with the people from IRIF. There’s a large expertise, and I’m very interested in much of the research being done.

What would be the next steps in your career?

I look forward to building up a group, and supervise PhD and master students. In December I started teaching a course on quantum computing, which has been great. I’m mostly talking about quantum algorithms which is exactly in my field of expertise. I enjoy this educational part a lot, and it is a welcome distraction from research. In teaching, the reward is somehow fair: if you put in a lot of effort then typically it turns out well. Unfortunately, this is not necessarily the case in research, where you are often alternating between large disappointments and large surprises. Nevertheless, I am happy doing research on quantum computing. Even given all the uncertainties and how hard it is to build a quantum computer, I believe it’s a field that will pay off.

Do you have a professional anecdote you would like to share?

In 2014 at the conference for Young Quantum Information Scientists (YQIS) in Palaiseau (Paris), there was Alain Aspect. A famous French experimentalist and physicist with an equally famous curled moustache. He is most well-known for implementing experiments that verify quantum theory. By the end of the night, he started doing magic tricks but most of his tricks failed. Somehow, he managed to blame his PhD student for this. I figured that this is how it must go in his scientific experiments as well, and remember being very happy that I did theoretical work instead!

Besides science and research, what do you enjoy doing?

I like to listen to music a lot. As a Belgium citizen, I am very proud of Jacques Brel, and enjoy his music a lot. But what I enjoy most is jazz music. Django Reinhardt is to me one of the greatest jazz musicians, and it is nice to see that his music is still very much alive in Paris. Some time ago I was at jazz club called 38 Riv', and I very much recommend this place to go and enjoy a nice concert.

BIOGRAPHY EXPRESS

2021: CNRS Research Scientist at IRIF

2019: Second postdoc jointly between CWI Amsterdam and Université Libre de Bruxelles

2018: First postdoc jointly between Inria and CWI Amsterdam

2016: University of Calgary, Canada for research

2014: Start PhD at Ghent University

2013: Summer internship in CERN, Geneva

2013: Master thesis in particle physics at Ghent University

Sylvain Douteau, maître de conférences à Université Paris Cité



Passionné de mathématiques, il aime en parler dans un français impeccable, **Sylvain Douteau intègre l'IRIF en tant que maître de conférences à l'Université Paris Cité**. Rencontre avec celui qui parle maths, pense maths et dort maths.

“Dans le cadre de mes recherches, je travaille sur le transport du savoir entre mathématiques et informatique. Je vais fouiller dans les résultats, prendre ce qui est pertinent et aller voir du côté informatique si on peut faire des choses intéressantes.” Sylvain Douteau, maître de conférences à l'Université Paris Cité | Pôle Preuves, programmes et systèmes - Équipe

Algèbre et calcul & Équipe Preuves et programmes

Parlez-nous de votre parcours. Avez-vous rencontré des difficultés ?

Après 2 années de **classes préparatoires** aux grandes écoles au lycée Georges-Clémenceau de Nantes, j'ai intégré en **2012 l'ENS de Paris**. J'ai poursuivi un stage puis en **thèse à Amiens de 2016 à 2019 au LAMFA**, à l'Université de Picardie Jules Verne (UPJV) sous la direction de David Chataur. J'ai ensuite occupé un poste d'**ATER de 2019 à 2020** dans la même université et le même labo. C'est en 2020 que j'ai intégré l'IRIF pour la première fois grâce à une **bourse post-doctorale** d'une année allouée par la FSMP. Malgré un contexte Covid compliqué, j'ai pu initier un premier contact avec Paul-André Méliès, directeur de recherche CNRS à l'IRIF. Mais les conditions n'étaient pas optimales pour échanger avec les autres membres du labo. D'autant plus que le cœur de ma recherche repose sur les mathématiques et que l'objectif en intégrant le labo était de me familiariser avec les thématiques du domaine informatique. J'avais le sentiment d'une mission inachevée. C'est la raison pour laquelle j'ai souhaité candidater de nouveau pour intégrer l'IRIF de manière permanente.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Je travaille sur la **théorie de l'homotopie**, cette branche des mathématiques issue de la topologie algébrique et je m'intéresse aussi aux **espaces stratifiés**. L'homotopie, c'est la déformation continue d'un objet en un autre. Un espace stratifié c'est un espace topologique découpé en strates, correspondant à une partition selon le type des singularités.

En mathématiques, on s'intéresse généralement aux objets lisses, sans singularités. Il est cependant parfois nécessaire d'étudier des objets plus compliqués, singuliers, pour comprendre des objets simples. C'est spécifiquement à l'étude de ces objets singuliers que je m'intéresse. L'enjeu est de généraliser les techniques sur les objets simples pour les appliquer aux objets compliqués. Abordé du point de vue des objets, la notion d'espaces stratifiés correspond à une forme qui est coloriée de couleurs différentes pour permettre un découpage en différents morceaux. Dans la théorie de l'homotopie, on s'intéresse à **ce que ces objets deviennent (ainsi que leurs couleurs) lorsqu'ils se déforment**. Entre autres, on se pose la question de savoir si l'on peut passer d'une forme à l'autre. Là où ça devient intéressant, c'est le **lien entre cette branche des mathématiques et l'informatique fondamentale**.

En informatique théorique, la **théorie homotopique des types** permet de traduire beaucoup plus facilement les preuves mathématiques dans un langage de programmation. Grâce à cette théorie, les ordinateurs ont la possibilité de vérifier les preuves difficiles. Dans le cadre de mes recherches, je travaille sur le transport du savoir entre mathématiques et informatique. Je vais fouiller dans les résultats, prendre ce qui est pertinent et aller voir du côté informatique si on peut faire des choses intéressantes.

Qu'est-ce que vous enseignez ?

J'enseigne pour les 1^{ère} et 2^{ème} année de licence. Mon cours de L1 est une **introduction aux mathématiques** et celui de L2 est un **cours d'arithmétique**, une première introduction à la théorie des groupes. Ce sont des cours standards que tous les étudiant-es doivent suivre. Le cours de première année est un mélange de rappel de cours de lycée et de fondamentaux de logiques et d'analyse. Il permet d'assurer que les étudiants pourront s'appuyer sur des connaissances de bases lorsqu'ils suivront des cours plus spécialisés par la suite. Le second cours est une introduction à la théorie des groupes. Ces derniers sont une des briques de bases de l'algèbre et apparaissent dans tous les domaines de mathématiques. Comme groupes de symétries, de fonctions ou même de lacets, en topologie.

D'où vient votre passion pour ce domaine ?

Les mathématiques m'ont toujours plu. Je crois que c'est d'abord l'aspect logique qui m'a plus dans les mathématiques. Le fait qu'il suffise de trouver une preuve pour démontrer qu'un résultat est vrai, (qu'il soit élémentaire, ou extrêmement difficile), c'est à la fois quelque chose de fascinant, et de très émancipateur, puisqu'on n'a pas besoin de l'approbation d'un enseignant, ou d'un livre, pour savoir si tel ou tel affirmation est vraie ou fautive. Depuis, j'ai aussi découvert à quel point la recherche en mathématiques (et certainement la recherche en général) était une activité très sociale, et c'est quelque chose de très épanouissant de vivre son activité de recherche au contact de chercheuses et chercheurs qui partagent cette passion. Au lycée, c'est le cours que je préférais. En prépa, la matière m'intéressait de plus en plus. Mais à l'époque, je ne savais pas exactement dans quel domaine des mathématiques je voulais m'orienter. C'est grâce à mon directeur de thèse à Amiens, David Chataur, que j'ai réussi à me décider. Il m'a inspiré et aspiré dans son domaine : la **théorie homotopique des espaces stratifiés**.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

De manière générale, j'espère pouvoir améliorer ma compréhension de ce qui se fait à l'IRIF et si tout se passe bien, je devrais pouvoir interagir avec des membres qui s'intéressent à la **théorie homotopique des types**.

Je voulais aussi intégrer l'IRIF pour continuer la collaboration initiée avec Paul-André Méliès lors de mon année de postdoc. Nous avons discuté de plusieurs idées sur la théorie des catégories et le projet est crédible, il ne reste plus qu'à le développer ! J'ai remarqué que dans ce genre de collaboration il était plus facile d'extraire de mon savoir-faire en mathématiques et de l'appliquer à l'informatique. Avec cette méthode, j'espère pouvoir **assimiler les bases en logique** afin de réaliser des choses plus concrètes avec les autres membres du labo, je pense notamment à Pierre-Louis Curien et François Métayer. J'irai aussi au séminaire Homotopie pour essayer de m'imbiber de cette compétence et je verrai où ça me mènera.

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

Lorsque j'étais en thèse, j'échangeais souvent sur mes travaux avec mes camarades thésards et thésardes. Comme personne d'autre que moi ne faisait de la topologie, je me retrouvais souvent à utiliser des **analogies pour illustrer certains concepts, comme les couleurs pour représenter les strates d'un espace stratifié** par exemple. Alors que je n'arrivais pas à comprendre un article que j'étais en train de lire, j'ai essayé de l'expliquer à une collègue, en traduisant les concepts à travers mes analogies habituelles. Dans ce cas particulier, en plus de considérer des couleurs pour chaque strate, il fallait aussi s'imaginer des dégradés entre celles-ci, comme si on allait du rouge au bleu en passant par toutes les teintes de violets. Le fait de vulgariser cet article de cette façon m'a non-seulement permis de finalement comprendre l'article que je lisais, mais j'ai ensuite réalisé que cette

idée de “dégradé” était pertinente, et elle m'a permis de débloquer mes recherches, en étudiant des espaces “fortement stratifiés”. Je pense qu'il est important pour quelqu'un qui a une activité de recherche de **s'efforcer à la vulgariser** (au moins auprès des gens qui sont contents d'entendre parler de mathématiques).

Un livre à recommander ?

J'ai beaucoup aimé le style inventif de **Ted Chiang**, auteur de nouvelles de science-fiction. J'ai lu toutes ses nouvelles et chacune transporte dans un univers parallèle absolument fascinant. C'est sur la nouvelle intitulée **Story Of Your Life** qu'est d'ailleurs basé le **film à succès Arrival**. Il est question entre autres de langage. La langue écrite appelée heptapode B se dévoile dans toute sa complexité. Le sens d'une « phrase » n'est pas simplement la somme des symboles qui la composent, mais est déterminé globalement, par la forme composée par l'ensemble. On peut d'ailleurs faire le parallèle avec la théorie de l'homotopie, qui analyse des objets complexes construit à partir de formes élémentaires.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2022 : Maître de conférences à l'Université Paris Cité / IRIF

2021 à 2022 : Postdoc à l'Institut de Mathématiques de Stockholm / Stockholm University

2020 à 2021 : Postdoc à l'IRIF, bourse doctorale de la FSMP

2019 à 2020 : ATER à l'Université de Picardie Jules Vernes / Amiens

2016 à 2019 : Thèse Étude homotopique des espaces stratifiés (Stratified homotopy theory) à l'Université de Picardie Jules Vernes / Amiens

2012 à 2015 : ENS Paris

Lauren K. Williams, en visite pour une année



“Je suis chercheuse en combinatoire. Mon travail consiste à trouver les connexions entre combinatoire, algèbre et physique. Et il se trouve qu’il y a de nombreuses connexions !” **Rencontre avec Lauren K. Williams, en visite à l'IRIF pour une année.** | Pôle Algorithmes et structures discrètes - Équipe Combinatoire.

Parlez-nous de votre parcours. Avez-vous rencontré des difficultés ?

De 2001 à 2005, j’étais doctorante au MIT sous la direction de Richard Stanley. Ma thèse s’intitule “Combinatorial Aspects of Total Positivity”. J’ai poursuivi avec un postdoc à UC Berkeley puis un second à Harvard. J’ai été recrutée en 2009 en tant que professeure à UC Berkeley. J’ai occupé ce poste jusqu’en 2018, année où j’ai été recrutée toujours en tant que professeure cette fois à Harvard, poste que j’occupe encore aujourd’hui. Maintenant, je profite de mon congé sabbatique pour effectuer une visite d’un an à l’IRIF et collaborer avec Sylvie Corteel et d’autres. Quand j’étais doctorante, j’ai commencé à travailler sur un problème très intéressant et après deux mois j’ai réussi à trouver une belle conjecture. Au début, j’ai cru que je parviendrais à trouver une preuve après un mois ou deux de recherche. Mais j’ai vite réalisé que c’était très difficile ! J’ai travaillé tous les jours sans relâche. Psychologiquement, c’était compliqué et frustrant. Et après neuf mois, j’ai commencé à trouver un début de solution pour finalement prouver la conjecture. C’était laborieux. Avec le recul, je me rends compte que lorsque l’on débute dans le milieu de la recherche, on se retrouve toujours confronté à ses situations difficiles. Maintenant j’écris beaucoup d’articles, je sais qu’il y a des obstacles, mais j’ai confiance.

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Je suis chercheuse en **combinatoire**. Mon travail consiste à trouver les **connexions entre combinatoire, algèbre et physique**. Et il se trouve qu’il y a de nombreuses connexions ! Par exemple, avec **Yuji Kodama**, nous avons trouvé les **connexions entre la combinatoire et les systèmes intégrables**, en particulier le **système Kadomtsev-Petviashvili (K-P)** qui décrit le mouvement des vagues en eau peu profonde. Il s’agissait ici d’étudier comment les vagues se forment et interagissent. Des chercheurs de certains laboratoires utilisent des waves tanks pour créer des vagues qui sont générées par les équations sur lesquelles j’ai travaillé. Avec Sylvie Corteel, nous avons écrit beaucoup de papiers sur la **connexion entre combinatoire et physique statistique**. En particulier, nous avons mis en évidence un modèle qui s’appelle “Asymmetric simple exclusion process”.

Quels sont les concepts-clés auxquels vous vous intéressez ?

J’ai trouvé les **connexions entre un objet géométrique** qui s’appelle la **grassmanienne positive** et les **modèles en physique**. Si on a un point dans la grassmanienne positive, on peut construire une solution de l’équation K-P et on peut utiliser la géométrie de la grassmanienne positive pour décrire les propriétés de la solution.

D’où vous vient cet intérêt pour l’informatique théorique ?

Je ne me sens pas particulièrement proche de l’informatique théorique. **Je suis une**

mathématicienne. Ce qui me plaît dans cette discipline, c'est la joie de la découverte. C'est satisfaisant de trouver une structure très riche et inattendue.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

Je voudrais apprendre plus de **structures de polynômes orthogonaux**, d'**asymmetric simple exclusion process** et des **connexions avec les vertex models**. Trois de mes doctorants viendront également à l'IRIF pendant mon année de visite.

Quelles seraient les prochaines étapes de votre aventure professionnelle ?

Je suis actuellement en **année sabbatique** et je reprends l'enseignement l'année prochaine. J'enseigne un cours très spécifique pour les nouveaux étudiants, c'est un cours d'introduction sur la manière dont les travaux de recherche se déroulent. Ce cours donne une **explication historique sur la façon dont une conjecture a été trouvée**. Enseigner est très important pour moi, je voudrais être un bon mentor pour mes étudiants.

Avez-vous une anecdote professionnelle à partager ?

Souvent, les gens croient que c'est très difficile d'être une chercheuse et un parent en même temps. Et je suis plutôt d'accord, c'est assez difficile de balancer les deux. Mais j'ai une anecdote qui prouve que parfois les deux rôles vont très bien ensemble. Quand ma fille était enfant, elle dormait difficilement donc chaque nuit je devais la bercer pendant une heure pour l'aider à s'endormir. Une nuit, alors que je la berçais, j'ai eu une idée de question qui pourrait être utile dans la recherche sur laquelle j'étais en train de réfléchir. C'était une question très intéressante et c'est devenu mon prochain projet de recherche. Donc finalement ce moment de berceuse m'offrait de bonnes conditions pour penser à autre chose.

Un livre à recommander ?

Il y a un livre très amusant : *Mathematics made difficult*, écrit par un cousin de mon père. C'est une **satire plutôt divertissante pour les mathématiciens**.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2018 à aujourd'hui : Professeure à Harvard

2009 - 2018 : Professeure à UC Berkeley

2006 - 2009 : Postdoc à Harvard

2005 - 2006 : Postdoc à UC Berkeley

2001 - 2005 : Doctorante au MIT

Marie Albenque, directrice de recherche au CNRS



Hyperactive, **Marie Albenque** est inarrêtable lorsqu'il s'agit de parler de sujets aussi variés que la science, l'écologie ou la place des femmes dans le milieu professionnel. Rencontre avec celle qui vient de rejoindre l'IRIF en tant que **directrice de recherche CNRS**.

*La combinatoire est un domaine extrêmement riche, qui touche à l'**algèbre**, à l'**analyse**, aux **probabilités**. Mon domaine de recherche plus précis, la **combinatoire des cartes**, est vraiment à*

l'interface entre probabilités, combinatoire et physique statistique et je trouve ça particulièrement stimulant de voir ces 3 communautés de chercheurs et de chercheuses interagir. Marie Albenque, directrice de recherche CNRS | Pôle Algorithmes et structures discrètes - Équipe Combinatoire.

Parlez-nous de votre parcours. Avez-vous rencontré des difficultés ?

J'ai eu un parcours plutôt linéaire et classique. En 2002, j'ai intégré l'École Normale Supérieure de Paris. J'ai ensuite effectué ma thèse au LIAFA entre 2006-2008 sur la combinatoire et les probabilités discrètes. De 2008 à 2009, j'ai enchaîné avec un postdoc à l'Université de Montréal. C'est en 2009 que j'ai intégré le CNRS pour la première fois et que je n'ai plus quitté depuis puisque j'occupe actuellement le poste de directrice de recherche. C'est un métier difficile et exigeant. J'ai eu parfois du mal à trouver ma place et à me sentir légitime en début de carrière, cela m'arrive encore aujourd'hui mais heureusement moins souvent ! Actuellement, ce que je trouve le plus compliqué est de réussir à me ménager du temps pour faire de la science sur des projets « long terme ».

En quoi consiste votre travail de recherche ?

Je m'intéresse à la **combinatoire**, c'est-à-dire que je compte des objets. La motivation pour étudier certaines familles d'objets provient souvent de la **physique statistique** ou de l'**informatique théorique**. Les modèles que l'on regarde sont souvent assez simples à décrire et à expliquer. J'aime bien que, derrière cette apparente simplicité, se cachent des outils théoriques profonds. La combinatoire est en effet un domaine extrêmement riche, qui touche à l'**algèbre**, à l'**analyse**, aux **probabilités**. Mon domaine de recherche plus précis, la **combinatoire des cartes** (qui sont des graphes planaires dessinés sur la sphère), est vraiment à l'interface entre probabilités, combinatoire et physique statistique et je trouve ça particulièrement stimulant de voir ces 3 communautés de chercheurs et de chercheuses interagir.

Quels sont les concepts-clés que vous abordez dans vos recherches ?

Pour étudier les **cartes planaires**, une approche extrêmement fructueuse est de les coder par des objets plus simples, comme par exemple des arbres avec des décorations. Pour trouver de tels codages, on procède souvent de manière un peu expérimentale. On part par exemple d'une formule énumérative connue, ou on regarde ce qu'il se passe sur des petits exemples et on essaie de voir un motif émerger. Un pan de ma recherche utilise aussi massivement les **logiciels de calculs formels** pour pouvoir « deviner » la solution de certaines équations et en déduire des résultats énumératifs. Il y a vraiment une partie mathématiques expérimentales dans mes recherches, qui peut être assez addictive.

D'où vient votre passion pour ce domaine ?

C'est une bonne question ! Je me souviens qu'en classe de Terminale j'aimais beaucoup les probabilités. Or les probabilités que l'on faisait à cette époque étaient en réalité de la combinatoire. Lors de mes études, je n'ai pas refait de probabilités discrètes jusqu'à mon stage de M2 à New York, où j'ai suivi un peu par hasard un cours sur la méthode probabiliste, que j'ai vraiment adoré. Quand je suis rentrée en France, j'ai eu la chance de participer aux journées du GT-ALEA qui regroupe les chercheurs et chercheuses travaillant autour de l'alea discret. Je ne savais même pas que ça existait en fait et j'ai vraiment tout de suite accroché.

Qu'est-ce que vous espérez développer à l'IRIF ?

Plein de choses ! J'ai déjà une collaboration en cours avec Dominique Poulalhon et Enrica Duchi, mais il y a plein de personnes au sein de l'équipe Combinatoire de l'IRIF avec qui je pourrai travailler. Pour l'instant, je me contente de profiter de tous les séminaires et groupes de travail qui sont organisés, mais à terme je compte bien mettre la main à la pâte et **devenir moteur du développement des activités de l'équipe**. J'aimerais également diversifier un peu mes sujets de recherche et me tourner vers l'**étude des graphes aléatoires** et vers la **théorie des graphes** en général.

Quelles seraient les prochaines étapes de votre aventure professionnelle ?

Avec cette promotion à un poste de directrice de recherche, j'ai le sentiment que j'ai le devoir de m'impliquer davantage dans des réflexions et des prises de décision sur l'exercice de la recherche, notamment via un **prisme féministe et écologique**. J'aimerais trouver le temps et la disponibilité pour faire un pas de côté et d'essayer de m'ouvrir aux interactions entre la recherche que je mène et ces problématiques. Comment est-ce que mes travaux de recherche peuvent s'appliquer aux enjeux écologiques par exemple ?

Un livre à recommander ?

Un livre que je recommande est l'essai féministe King Kong théorie de Virginie Despentes. C'est un ouvrage qui m'a beaucoup parlé et que je conseille à tout le monde de lire pour la prise de conscience qu'il éveille. Pour avoir un bref aperçu de son contenu, je vous partage une citation qui parle d'elle-même : « *Le féminisme est une révolution, pas un réaménagement des consignes marketing* ». J'aime aussi beaucoup le podcast féministe « Un podcast à soi » de Charlotte Bienaimé, disponible sur Arte Radio.

BIOGRAPHIE EXPRESS

2022 - aujourd'hui : Directrice de recherche CNRS / IRIF

2009 - 2022 : Chargée de recherche au LIX / École Polytechnique

2008 – 2009 : Postdoc à l'Université de Montréal

2006 - 2008 : Doctorat au LIAFA

2002 - 2006 : ENS Paris

Baptiste Louf, lauréat d'un prix solennel de thèse de la chancellerie des Universités de Paris



© Chancellerie des Universités. Les lauréats et lauréates d'Université Paris Cité entourées par Cécile Badoual, vice-présidente formation et Christophe Kerrero, recteur de la région académique Île-de-France, chancelier des universités, recteur de l'acadé

Baptiste Louf est lauréat 2021 d'un prix solennel de thèse de la Chancellerie des Universités de Paris dans la catégorie prix en sciences « toutes spécialités ». Chaque année depuis 30 ans, la Chancellerie des Universités de Paris récompense plusieurs thèses dans toutes les disciplines scientifiques (cette année, dix thèses dans la catégorie « sciences toutes spécialités »). Rencontre avec cet ancien doctorant de l'IRIF.

Peux-tu te présenter succinctement ?

Je m'appelle **Baptiste Louf**, je suis actuellement en **post-doc dans l'équipe Probabilité et Combinatoires** à l'Université Uppsala en Suède. Ma recherche porte sur les **cartes combinatoires**, qui sont des modèles de surfaces discrètes. Après le bac, j'ai étudié en classe préparatoire à Paris Louis Le Grand (2011-2013) puis l'École Polytechnique à Palaiseau (2013-2016). En 2016-2017 j'ai étudié au Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI) à Paris Diderot. De septembre 2017 à fin juin 2020, j'ai effectué mon doctorat à l'Institut de Recherche en Informatique Fondamentale (IRIF) dans l'équipe Combinatoire sous la direction de Guillaume Chapuy.

Qu'est-ce qui t'a amené à faire de la recherche ?

Depuis le lycée, où j'ai participé à des concours type olympiades, j'ai toujours été assez proche de la recherche. C'est un milieu qui m'a toujours attiré et effrayé à la fois : c'est un métier très prenant, et parfois difficile, notamment pour obtenir un poste permanent. Aujourd'hui, malgré mes hésitations initiales, je ne regrette pas d'avoir choisi de me lancer dans la recherche. C'est une occupation dans laquelle je m'épanouis professionnellement et intellectuellement.

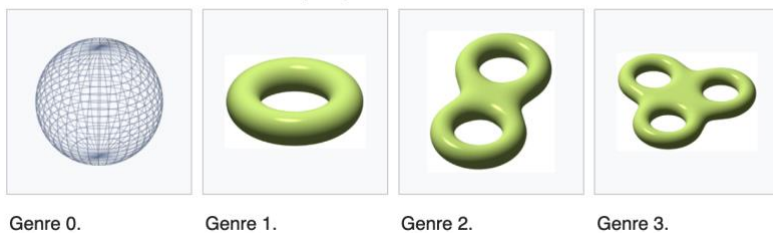
Peux-tu nous en dire davantage sur ton passage à l'IRIF ?

De septembre 2017 à fin juin 2020, j'ai effectué mon doctorat à l'IRIF dans l'équipe Combinatoire sous la direction de Guillaume Chapuy. Les membres de cette équipe s'intéressent aux **structures combinatoires issues de problèmes informatique, mathématique et/ou physique**. L'équipe s'est spécialisée sur les objets tels que les **partitions d'entiers**, les **permutations**, les **arbres**, les **cartes**, les **graphes** et les **polyminos**. Sur ces thèmes, l'approche énumérative est privilégiée tout en sachant que les membres de l'équipe ont des interactions avec la **théorie des nombres**, la **physique combinatoire** et les **probabilités**.

Le début de ma thèse a été très impressionnant : d'un seul coup j'ai découvert toute l'étendue des choses que je ne savais pas, alors que les « adultes » autour de moi avaient l'air de très bien maîtriser leur sujet. Guillaume Chapuy, mon directeur de thèse, a été d'un très bon conseil non seulement dans la recherche elle-même, mais aussi dans toutes les démarches connexes. Il m'a consacré beaucoup de temps pour parler de ma recherche, il m'a aidé pour la rédaction, me suggérait des conférences auxquelles participer, m'encourageait à discuter avec d'autres chercheurs, etc. ...

Peux-tu nous en dire plus sur ta thèse ?

Genre de quelques surfaces orientables



Dans ma thèse, je m'intéresse aux **cartes combinatoires**. Les cartes combinatoires, ce sont des **surfaces discrètes** (par opposition à surfaces continues) fabriquées en recollant des polygones ensemble. En

géométrie des surfaces, on peut classifier les surfaces selon leur topologie, au sens où on considère que deux surfaces sont équivalentes si on peut déformer l'une en l'autre. Par exemple, une tasse est la même chose qu'un donut selon ce point de vue. Une surface donnée est déterminée par un unique nombre entier, son genre, c'est-à-dire son nombre d'anses (ou, plus improprement, de « trous »). La sphère est donc la surface de genre 0, le tore est de genre 1, etc.

Dans l'étude des cartes en général et particulièrement dans ma thèse, le genre est un paramètre important, **on cherche à comprendre comment la topologie influe sur les propriétés des cartes**. Pour cette thèse, je me suis principalement intéressé aux **cartes en tout genre**, sous différents angles. La première partie consiste à étudier les cartes en lien avec la **hiérarchie KP**, et la deuxième partie consiste à étudier les **propriétés géométriques locales des grandes cartes aléatoires en « grand genre »** (en utilisant notamment les résultats de la première partie).

Que sont les cartes combinatoires ? A quoi servent-elles ?

Une carte combinatoire, c'est une surface construite en recollant des polygones ensemble. Si on regarde un ballon de foot classique noir et blanc, on se rend compte que finalement, c'est juste une sphère avec des hexagones et pentagones collés ensemble : c'est un exemple de carte combinatoire ! On peut envisager les cartes comme des approximations de surfaces continues. Par exemple un personnage de jeu vidéo (ou plus généralement tous les objets au format STL), si on zoome suffisamment, on voit qu'il s'agit d'une surface formée de plein de petits triangles, mais qui donne une apparence lisse si on dézoome. **En informatique, les cartes combinatoires permettent d'encoder des surfaces de manière efficace**. En physique, elles permettent de définir certaines théories de manière rigoureuse.

Dans ta thèse, tu évoques trois approches : l'approche algébrique, l'approche probabiliste et l'approche bijective. Peux-tu nous en dire davantage sur ces approches ?

Les cartes sont des objets très riches que l'on peut étudier de plein de manières différentes, en connexion avec divers champs de la recherche fondamentale, et surtout en utilisant des outils et méthodes de nature très variées. Dans ma thèse, j'ai essayé de les étudier sous plusieurs angles à la fois.

Premier angle, **l'approche bijective**. L'étude bijective des cartes consiste à **essayer de mettre les cartes en correspondance explicite avec d'autres objets plus simples**. Cette étude se base souvent sur des décompositions de type algorithmique. Le but de cette approche est de comprendre la structure interne, de disséquer ces objets, d'en faire leur anatomie.

L'approche probabiliste quant à elle **s'interroge sur les propriétés typiques d'une carte prise au hasard**. Pour faire un parallèle avec le monde réel, on peut faire des statistiques sur la couleur des yeux des êtres humains, de même on peut faire des statistiques sur certaines propriétés géométriques des cartes.

Finalement, **l'approche algébrique s'inscrit quant à elle plutôt dans la question énumérative**. Dans

cette approche, on cherche à compter les cartes. Ce serait par exemple l'équivalent du recensement de la population : compter combien nous sommes. Pour cela, deux méthodes existent pour compter : la **méthode analytique, plus classique**, (très bien développée notamment en France grâce à Philippe Flajolet et ses successeurs), ou la **méthode algébrique**. La méthode algébrique consiste à **relier les cartes à des objets très classiques** : les permutations, et à les compter grâce à des outils algébriques comme la théorie des représentations. Dans ma thèse, je me suis intéressé aux cartes par ces trois approches. Ce ne sont pas des approches mutuellement exclusives, au contraire, de nombreux résultats ne seraient pas atteignables sans une combinaison d'outils différents.

Parmi les termes clés évoqués dans ta thèse, tu mentionnes la hiérarchie KP. De quoi s'agit-il ?

La **hiérarchie KP** a été introduite originellement en physique mathématique afin d'**étudier les propriétés d'une équation qui décrit le mouvement des vagues en eau peu profonde**, l'équation de Kadomtsev-Petviashvili. De manière très surprenante, il se trouve que **la hiérarchie KP permet d'énumérer (de compter) les cartes en tout genre**. On peut par exemple demander combien il existe de cartes de genre 3 formées avec 20 triangles. Mais il reste de nombreuses choses à découvrir à propos du lien entre hiérarchie KP et cartes. Dans ma thèse, j'ai apporté ma petite contribution à cet effort, sous l'angle algébrique et sous l'angle bijectif évoqués plus haut.

Un autre terme clé mentionné dans ta recherche : les limites locales des cartes. De quoi s'agit-il ?

Les **limites locales de cartes** s'inscrivent principalement dans l'approche probabiliste, qui consiste à **étudier les propriétés géométriques locales des grandes cartes aléatoires**. La question que l'on se pose est, informellement, « à quoi ressemble une grande carte prise au hasard ? ». C'est une question qui a été très bien étudiée dans le cas des cartes de la sphère (en genre 0 donc), mais on sait encore peu de choses quand la carte est à la fois de très grande taille et de très grand genre. Plus rigoureusement, on cherche à comprendre une certaine « limite » de nos cartes quand la taille et le genre tendent vers l'infini. Nous avons étudié la limite locale, qui consiste à décrire le comportement de la carte au voisinage immédiat d'un point donné.

Au-delà de cette thèse, qu'est-ce qu'il y a ?

Il reste encore beaucoup de questions ouvertes, à la fois en lien avec la hiérarchie KP, ou sur les cartes de grand genre. Une direction particulièrement intéressante serait d'**étendre ces travaux à d'autres modèles de géométrie des surfaces**, au-delà des cartes. En particulier, on a récemment découvert une **coïncidence surprenante avec un modèle de surfaces hyperboliques** étudiées par Maryam Mirzakhani, et je suis très curieux de découvrir ce qui se cache derrière tout ça !

Jonas Landman, lauréat d'un prix solennel de thèse de la chancellerie des Universités de Paris



© Chancellerie des Universités. Les lauréats et lauréates 2022 d'Université Paris Cité. Jonas Landman : 4ème en partant de la droite.

*Jonas Landman est lauréat 2022 d'un prix solennel de thèse de la Chancellerie des Universités de Paris dans la catégorie prix en sciences « toutes spécialités » pour sa thèse intitulée *Quantum Algorithms for Unsupervised Machine Learning and Neural Networks*. Rencontre avec cet ancien doctorant de l'IRIF.*

Peux-tu te présenter succinctement ?

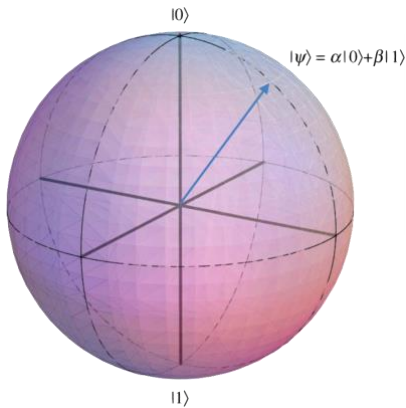
Je m'appelle Jonas Landman, j'ai grandi à Paris et étudié à l'Ecole Polytechnique en 2013 puis à UC Berkeley en 2017. Durant ma scolarité j'ai fait l'inverse d'une

spécialisation, en me passionnant à la fois pour les mathématiques, la biologie, la physique théorique et expérimentale, l'intelligence artificielle, ou même la musique et l'économie. Puis fin 2017 j'ai eu une petite révélation avec la découverte de l'Ordinateur Quantique qui semblait englober beaucoup de mes sujets théoriques favoris, tout en promettant des applications intéressantes. En 2018 j'ai commencé ma thèse à l'IRIF - Institut de Recherche en Informatique Fondamentale, dans l'équipe Algorithmes et Complexité, sur le sujet des algorithmes quantiques en machine learning. Je suis désormais post-doctorant à la School of Informatics de l'Université de Edimbourg (UK) et à QC Ware.

Qu'est-ce qui t'a amené à faire de la recherche ?

C'est assez curieux finalement car j'ai continuellement tourné le dos à la recherche mais j'ai fini par en faire. Bien sûr, depuis petit j'ai une passion pour la Science et sa merveilleuse façon d'aller explorer et expliquer les phénomènes naturels. Mais je n'ai jamais eu la prétention d'apporter ma pierre à l'édifice, je voulais juste comprendre. En particulier je me disais qu'une fois la physique quantique et la relativité générale acquises, je m'arrêteraient là. À Polytechnique, j'ai visité et travaillé dans quelques laboratoires, mais je trouvais l'ambiance un peu morne. Je me suis donc détourné de tout ça. À Berkeley je travaillais sur des sujets de biologie computationnelle et on m'a proposé d'y rester pour une thèse, mais je ne me voyais pas devenir chercheur. Et c'est finalement ce qui m'est arrivé après avoir rencontré mon futur directeur de thèse, Iordanis Kerenidis, en Californie. Une fois en thèse, on découvre tout un monde inconnu : l'ambiance des labos, les autres étudiants, les premiers articles, les conférences, la prise de parole. C'est très stimulant.

Qu'est-ce qu'un ordinateur quantique, comment le définir ?



Comme tout ordinateur, c'est une machine qui va manipuler et modifier de l'information pour faire des calculs, résoudre des problèmes. La spécificité de l'ordinateur quantique est que l'information dont on parle sera "quantique". En effet l'information a toujours un support physique : des transistors ouverts (0) ou fermés (1) dans nos téléphones portables par exemple. Cette fois-ci on imagine de l'information sous forme d'état stable (0) ou excité (1) d'un électron par exemple, ou de tout autre système quantique à deux états. Alors l'information doit respecter les lois de la physique quantique, qui autorise au système d'être dans les deux

états à la fois, entre autres. L'ordinateur quantique manipule ces nouvelles propriétés, et les chercheurs se demandent depuis les années 1990 comment cela pourrait améliorer la résolution de certains problèmes. Et ils ont trouvé plein de cas où, effectivement, utiliser un ordinateur quantique procure un avantage certain, par exemple en terme de rapidité. Restent alors à savoir jusqu'où pourra-t-on continuer à démontrer les avantages ou les limites dans plein de domaines. Je me suis concentré sur le domaine de l'intelligence artificielle.

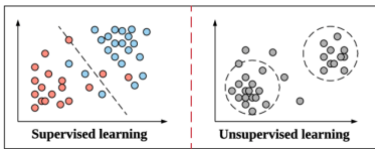
Quels sont les fondements de l'intelligence artificielle et de l'ordinateur quantique ?

Ces deux domaines peuvent sembler éloignés, mais ils ont étonnement beaucoup de points en commun. Le formalisme mathématique de la physique quantique voit les systèmes quantiques comme des vecteurs (dans un espace de Hilbert exponentiellement large, où chaque vecteur de la base représente un résultat d'une mesure possible du système) et les évolutions de ces systèmes comme des matrices : on utilise l'algèbre linéaire. Il s'avère qu'en intelligence artificielle (ou "machine learning"), tout est aussi décrit avec l'aide d'algèbre linéaire: les images sont des vecteurs, les réseaux de neurones sont des séries de matrices etc. On peut donc tisser des liens et inventer des algorithmes à l'aide de ce langage commun. En 2009, trois chercheurs (Harrow Hassidim & Lloyd [1]) ont montré que l'on pouvait inverser une matrice avec un ordinateur quantique de façon exponentiellement plus rapide que sur un ordinateur classique. Puis ont suivi d'autres résultats concernant la manipulation de matrices, leurs valeurs propres, leur décomposition, la projection sur des sous espaces vectoriels. De nombreux outils fondamentaux en machine learning.

Tu débutes ta thèse par une touche de philosophie. Selon toi, quel lien y-a-t-il entre la philosophie, les sciences de l'ordinateur et les mathématiques ?

Il me semble qu'autrefois la Philosophie et la Science ne faisaient qu'un. La motivation profonde de beaucoup de scientifiques et philosophes est l'envie de comprendre ce qu'il se passe et pourquoi. L'envie de poser des questions importantes et d'y répondre. Donc ce lien est plus qu'évident pour moi. Depuis l'avènement de la science moderne, on dirait que lorsqu'un sujet est traité scientifiquement, on le retire de la liste des questions philosophiques (la nature du vide, l'harmonie musicale, le vivant, certains comportements humains). Mais, pour le grand bonheur des curieux, il reste quelques questions avec un pied de chaque côté, pour en citer quelques-unes : Quelle est la nature de la conscience ? Le futur est-il déjà déterminé ? Comment savoir si nous vivons dans une simulation ? Quel est la part d'inné ou d'acquis dans ce que nous apprenons ? Les lois mathématiques de la nature sont-elles découvertes ou inventées ? Croiser l'éclairage philosophique avec l'apport de la biologie, des mathématiques, de la physique quantique et de l'informatique [2] est une des voies (la meilleure ?) pour mieux comprendre, ou simplement inventer de nouvelles questions.

Parmi les termes clés évoqués dans ta thèse, tu mentionnes l'apprentissage automatique non supervisé. Peux-tu nous expliquer de quoi s'agit-il ?



L'apprentissage supervisé correspond au cas où les données que l'on donne à l'ordinateur contiennent les réponses (par exemple des images de chats et chiens, avec pour chacune la réponse "chat" ou "chien").

Lors de l'entraînement, l'ordinateur cherche alors à répondre au mieux et corrige les paramètres de la fonction de prédiction à chaque fois qu'il fait une erreur. Dans l'apprentissage non supervisé, les réponses ne sont pas fournies lors de l'entraînement. L'ordinateur doit se débrouiller avec des images de chats et chiens et doit comprendre naturellement qu'il y a deux types d'animaux. On parle souvent de clustering car il s'agit de trouver des "groupes" dans les données, souvent très nombreuses et de très grande dimension.

Qu'envisages-tu après cette thèse ?

Ma thèse a porté principalement sur des algorithmes machine learning pour les ordinateurs quantiques idéaux, c'est-à-dire long terme. Les premiers ordinateurs quantiques font leur apparition de nos jours, mais sont imparfaits et de taille limitée. De nombreux chercheurs se demandent donc ce qu'il sera possible de faire avec ces premières générations de machines. C'est sur ces aspects que je souhaite poursuivre ma recherche dans le cadre de mon post-doctorat. Les algorithmes sont très différents, et les promesses sont souvent moindres. Je me demande si certaines idées sont vouées à l'échec ou seraient, au contraire, de bonnes pistes. Nous avons récemment proposé de nouveaux modèles quantiques pour le court terme [3] mais aussi démontré que les récentes méthodes de "variational quantum circuits" peuvent être reproduites approximativement sans même utiliser d'ordinateur quantique [4].

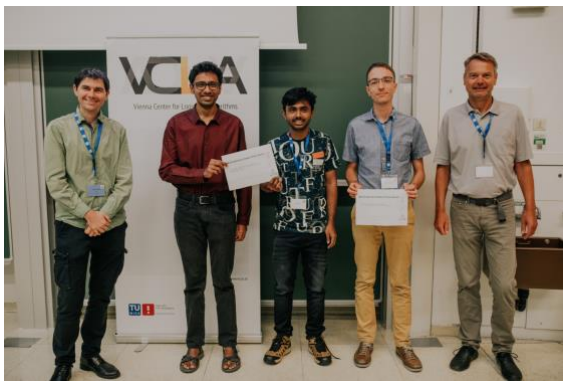
[1] Harrow et al. "Quantum algorithm for solving linear systems of equations". In APS March Meeting Abstracts (Vol. 2010, pp. D4-002).

[2] S.Aaronson "Why Philosophers Should Care About Computational Complexity". Computability: Turing, Gödel, Church, and Beyond (2013, vol. 261, p. 327)

[3] A.Cherrat et al. "Quantum Vision Transformers". Preprint Arxiv:2209.08167

[4] J.Landman et al. "Classically Approximating Variational Quantum Machine Learning with Random Fourier Features". Preprint Arxiv:2210.13200

Gaëtan Douéneau-Tabot, lauréat de deux prix étudiant



Ci-contre : Gaëtan Douéneau-Tabot (deuxième à droite) à la remise de prix du MFCS Best Student Paper Award.

*Gaëtan Douéneau-Tabot est lauréat 2022 de deux Best Student Paper Awards remis par les deux principales conférences organisées par l'EATCS : ICALP et MFCS. En juillet 2022, il a reçu le prix du Best Student Paper pour la track B de la conférence ICALP (International Colloquium on Automata, Languages and Programming) pour l'article *Hiding pebbles when the output alphabet is unary*. En août 2022, il a reçu un second prix à la conférence MFCS (Mathematical Foundations of Computer Science) pour l'article *Continuous rational functions are deterministic regular*, co-écrit avec Olivier Carton (IRIF).*

Peux-tu te présenter succinctement ?

Je suis **Gaëtan Douéneau-Tabot**, doctorant en 3ème année à l'IRIF dans l'équipe Automates et applications. Ma thèse est dirigée par Olivier Carton, professeur à l'Université Paris Cité et membre de l'IRIF, et co-encadrée par Emmanuel Filiot de l'Université Libre de Bruxelles. Mon quotidien de doctorant est un peu particulier puisque je travaille sur ma thèse uniquement deux jours par semaine. Le reste du temps, je le passe à la Direction générale de l'armement (DGA) où je contribue au **suivi des programmes d'armement du Ministère des Armées**, qui sont spécifiés par la DGA et commandés à l'industrie de défense. Je travaille en particulier sur la **cybersécurité des satellites militaires**. Ce double-emploi me permet d'exercer deux activités très différentes : d'un côté je me penche sur des questions théoriques au sein du monde de la recherche en informatique et de l'autre, je suis au contact de l'industrie de défense et des forces armées.

Qu'est-ce qui t'a amené à faire de la recherche ?

Les questions scientifiques m'ont toujours intéressé. Après deux années de classe préparatoire, j'ai choisi d'intégrer en 2015 l'ENS Paris-Saclay où j'ai réalisé un double cursus en mathématiques et en informatique. C'est dans ce contexte que j'ai découvert l'informatique fondamentale et plus particulièrement la **théorie des automates**.

Peux-tu nous en dire plus sur ta thèse ?

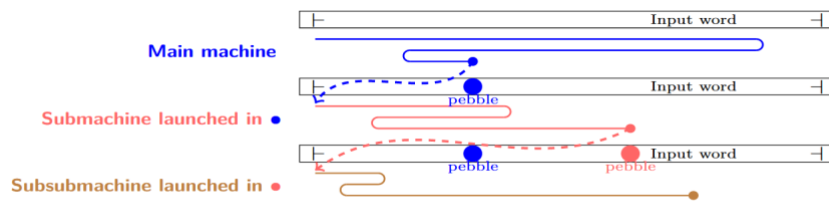
Dans le cadre de ma thèse, je m'intéresse donc à la **théorie des automates** et plus spécifiquement à des **modèles de calcul appelés « transducteurs finis »**. Ces modèles peuvent être vus comme des programmes « simples », c'est-à-dire qu'ils ne disposent que d'une mémoire bornée pour effectuer leurs calculs. En pratique, ces modèles peuvent être utilisés pour le traitement de textes ou de flux de données (« streaming »). Pour traiter un texte très long, il est en effet souhaitable que la mémoire consommée par un programme ne dépende pas de la quantité de texte qui a déjà été lue, et donc qu'elle soit bornée. Les questions que je me pose concernent l'optimisation de ces programmes simples. Il s'agit, étant donné un programme, de générer automatiquement un programme de même comportement, et qui est « plus simple », c'est-à-dire plus rapide, ou qui consomme moins de mémoire. D'un point de vue théorique, cette question se traduit sous la forme d'un problème d'appartenance (membership) à une sous-classe : étant donné un transducteur appartenant à une certaine classe de machines, peut-on trouver un transducteur de même comportement parmi une classe de machines « plus simples » ?

En 2022 tu as reçu deux prix étudiants. Peux-tu nous expliquer sur quoi portaient les articles

récompensés ?

Dans l'article intitulé *Hiding pebbles when the output alphabet is unary* et présenté à la conférence ICALP 2022, je m'intéresse à des programmes qui prennent en entrée une **chaîne de caractère finie** et produisent un nombre en sortie. Ces programmes, appelés « **transducteurs à jetons (pebbles)** » s'exécutent sous la forme d'une pile d'appels récursifs de hauteur bornée. Etant donnée un tel transducteur, je montre qu'il est possible :

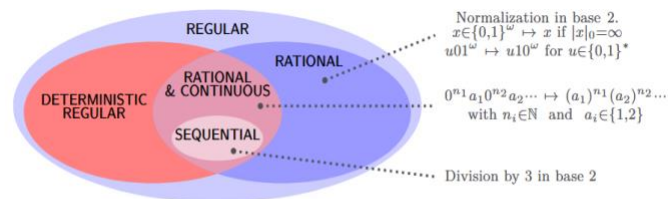
- de décider s'il existe un transducteur qui produit les mêmes résultats, mais qui ne passe pas d'arguments à ses appels récursifs (en dehors de la chaîne de départ). Ce modèle « plus simple » est appelé « **transducteur à jetons aveugles (blind pebbles)** » ;
- et s'il existe, de générer automatiquement ce transducteur « plus simple ».



■ Figure 1 Behavior of a 3-pebble transducer.

Le second article, intitulé *Continuous rational functions are deterministic regular* et présenté à la conférence MFCS 2022, s'intéresse à des programmes qui prennent en entrée une chaîne infinie de caractères et produisent en sortie une chaîne infinie qui modélisent des données arrivant en flux. Dans ce cadre, il est montré comment :

- décider si certains traitements complexes peuvent être réalisés « sans mémoire » ;
- et le cas échéant, comment construire un transducteur qui les implémente.



■ Figure 1 Classes of partial functions over infinite words studied in this paper

Qu'envisages-tu pour la suite ?

Le doctorat est une excellente formation, non seulement pour les compétences scientifiques et techniques que j'ai pu acquérir, mais aussi en matière de gestion de projet, d'autonomie ou d'esprit d'initiative. Il est donc très utile en dehors du monde académique ! A l'issue de ma thèse, je vais rejoindre l'administration publique à plein temps. Je suis persuadé que mon doctorat en sciences offre une bonne légitimité pour travailler sur les thématiques liées à l'innovation, enjeu fondamental au Ministère des Armées et à la DGA. Fait peu connu, les docteurs employés au sein de la DGA sont d'ailleurs très nombreux (plusieurs centaines) ! A ce sujet, j'ai co-piloté la rédaction d'un rapport faisant un état des lieux du **recrutement et de l'emploi des docteurs dans les administrations publiques** (hors recherche et enseignement). Ce document est disponible ici : https://docteurs-administrations.fr/media/productions/IDeA_docteurs-administrations.pdf.

Abhishek De: A look into infinite proofs



"I primarily worked on infinite proofs which is, philosophically, a novel way of proving things. A proof can be thought of as a debate between two people, one who is trying to establish the statement and the other who is trying to refute it. The statement has a proof if the person who is trying to prove it wins the debate." **Abhishek De, former PhD student at IRIF.**
Link to his PhD thesis: Linear logic with the least and greatest fixed points. Truth semantics, complexity and a parallel syntax

Could you introduce yourself?

I am Abhishek De, a postdoc student at the University of Birmingham. I obtained my Bachelor's and Master's degrees from Chennai Mathematical Institute (CMI). I did my PhD at Institut de Recherche en Informatique Fondamentale (IRIF) under the supervision of Alexis Saurin and obtained my doctoral degree in 2022. I work in **logic**, mostly on the **structure of proofs**.

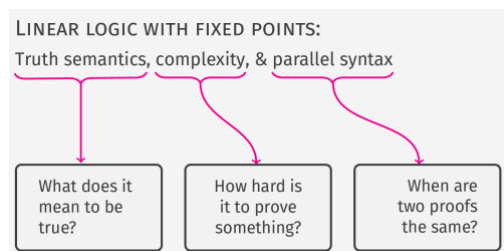
How did you end up doing research?

I was bad at sports and relatively good at maths so I got into the olympiad circuit in high school. From then on, the path was almost predestined. I applied to all mathematics research institutes in my country with undergraduate programs and got into a few. Finally, I chose CMI because it had a **dual degree in math and computer science**. In undergrad, I realised maths was too difficult so I stuck to computer science. I did not have a favourite topic per se, I liked whichever topic was taught in an interesting fashion. My favourite teacher was R. Ramanujam, one of the most eminent logicians in the country, so I told him I wanted to work on logic. He sat with me, evaluated my interest and strengths, and advised me to apply to Alexis Saurin.

Could you explain what your thesis is about?

I primarily worked on **infinite proofs** which is, philosophically, a novel way of proving things. A proof can be thought of as a debate between two people, one who is trying to establish the statement and the other who is trying to refute it. The statement has a proof if the person who is trying to prove it wins the debate. Infinite proofs are debates which go on forever. My work on infinite proofs focused on **canonical representations of infinite proofs called proof-nets**. I also worked on the **complexity** (how hard is it to determine if a statement has an infinite proof or not) and **semantics** (the meaning of truth with respect to infinite proofs) of such systems.
Link to his PhD thesis: Linear logic with the least and greatest fixed points. Truth semantics, complexity and a parallel syntax

What are the main approaches to the proof theory of logics with fixed points?



Fixed points are interesting computational gadgets. A recursive call in a program basically computes a least fixed point. A logical language that is expressive enough to talk about fixed points can express a lot of important things like "Eventually this client will be served" and so on. Consequently, the proof theory and model theory of logics

with fixed points has been investigated with equal enthusiasm. While expressivity and complexity are the élan vital of the model-theoretic paradigm, **axiomatisability** is that of the **proof-theoretic paradigm**. Notwithstanding the particular style of writing proofs (i.e. Hilbert-style or sequent

calculus or something else), there are three main approaches to the axiomatisation:

- **emulating induction explicitly** yielding finitary wellfounded systems
- **construe fixed points** as limit points of approximations yielding infinitely branching wellfounded systems
- **emulating induction implicitly** via self-reference yielding circular and non-wellfounded systems

Could you explain what a circular and a non-wellfounded systems are?

Structurally, it's quite simple really: a **non-wellfounded system is just a system of infinite trees**. If we restrict to trees with finitely many subtrees, we have a circular system. The combinatorics of infinite trees are quite well-developed so the structural proof theory can oftentimes use Ramsey-like arguments implicitly or explicitly. However, things get complicated with the semantic and computational aspects. These proofs come with a progress condition that guarantees the absence of paradoxes and vicious circles. It is difficult to explain the progress condition denotationally since the science hasn't really gone beyond construing infinite proofs as infinite series of finite approximations (which are finite trees). On the computational side, **infinite computations** (like printing all prime numbers) correspond to the cut-elimination of infinite proofs which has been extremely difficult to be satisfactorily nailed down. My work on infinite proof-nets is a small step towards that goal.

In which concrete circumstances could your work be applied?

There are **two distinct strains of applications**. Firstly, on the **level of provability**, fixed point linear logic is able to **express several mathematical theorems and automated theorem provers** that work on propositional fixed point linear logic could rival first-order theorem provers. Secondly, (and this follows from the previous question) via the **Curry-Howard correspondence**, (co)inductive data types correspond to fixed point formulas and (co)inductive programs correspond to circular proofs. Consequently, further research on infinite proofs (especially its computational aspect) can be applied in the design and evaluation of coinductive programs.

Now that you defended your thesis, what are you focusing on?

At the moment, I would like to throw a lot of **mathematical tools at the cut-elimination of infinite proof-nets** and see what sticks. In particular, the rewriting techniques of the Dutch school seem appealing. On a related note, I'm working on **developing alternative styles of writing infinite proofs** viz. **natural deduction and deep inference**. It would be interesting to see if the challenges thrown by the normalisation of these formalisms are similar to the ones I'm familiar with in the world of infinitary sequent calculus and proof-nets. Currently, I'm also involved in a project on providing a **proof-theoretic solution** to a problem in topological semigroup theory.

Victor Lanvin, lauréat d'un prix de thèse Génie de la Programmation et du Logiciel 2022



© GDR GPL. Victor Lanvin (à droite) et les deux autres lauréats des prix de thèse Génie de la Programmation et du Logiciel

Victor LANVIN est lauréat 2022 d'un prix de thèse Génie de la Programmation et du Logiciel pour sa thèse intitulée *A Semantic Foundation for Gradual Set-Theoretic Types*. Rencontre avec cet ancien doctorant de l'IRIF.

Peux-tu te présenter succinctement ?

Je m'appelle Victor Lanvin, après avoir intégré l'ENS Paris-Saclay en 2013, j'ai rapidement découvert ma passion pour les langages de programmation, et j'ai donc réalisé

un stage de M2 avec Giuseppe Castagna à l'IRIF. Mon stage s'est prolongé sur une thèse de septembre 2017 à novembre 2021, toujours sous la direction Giuseppe Castagna à l'IRIF. Depuis, j'ai rejoint l'entreprise du métavers social - Meta en mai 2022 en tant qu'ingénieur spécialisé dans les langages de programmation, compilateurs, et systèmes de types.

Qu'est-ce qui t'a amené à faire de la recherche ?

Je suis arrivé à l'IRIF en mars 2016, dans le cadre d'un stage de recherche en Master 2, avec Giuseppe Castagna, qui deviendra ensuite mon directeur de thèse. Je m'y suis immédiatement plu : l'ambiance entre doctorant·es et chercheur·euses est particulièrement agréable. Quel que soit le problème que l'on rencontre, en lien avec la recherche, un problème personnel ou administratif, il y a toujours quelqu'un capable de nous aider. La diversité des domaines de recherche abordés à l'IRIF est particulièrement stimulante. Les séminaires organisés chaque semaine sont une superbe occasion de découvrir de nouvelles thématiques de recherche, voire d'initier des collaborations parfois inattendues. Mon directeur de thèse, Giuseppe Castagna, m'a remarquablement bien accompagné durant ces cinq années. Il a su me guider dans le monde de la recherche et m'a soutenu dans les moments les plus difficiles de la thèse.

$$\begin{array}{c}
 \frac{[\Gamma_{\text{Cat}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash c : b_c} \quad \frac{[\Gamma_{\text{Var}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash x : \tau [\vec{t}/\vec{a}]} \quad \Gamma(x) = \forall \vec{a}. \tau \\
 \frac{[\Gamma_{\text{Proj}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash \pi_i e : \tau_i} \quad \frac{[\Gamma_{\text{Pair}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash (e_1, e_2) : \tau_1 \times \tau_2} \quad \frac{[\Gamma_{\text{App}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash e_1 : \tau' \rightarrow \tau \quad \Gamma \vdash e_2 : \tau} \\
 \frac{[\Gamma_{\text{Abstr}}^{\text{HM}}]}{\Gamma, x : t \vdash e : \tau} \quad \frac{[\Gamma_{\text{Abstr}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash \lambda x : \tau'. e : \tau' \rightarrow \tau} \\
 \frac{[\Gamma_{\text{Let}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash (let \vec{a} x = e_1 in e_2) : \tau} \quad \frac{[\Gamma_{\text{Let}}^{\text{HM}}]}{\Gamma, x : \forall \vec{a}. \vec{\beta}. \tau_1 \vdash e_2 : \tau} \quad \vec{a}, \vec{\beta} \# \Gamma \text{ and } \vec{\beta} \# e_1 \\
 \frac{[\Gamma_{\text{Water}}^{\text{HM}}]}{\Gamma \vdash e_1 : \tau'} \quad \Gamma \vdash e_2 : \tau \quad \tau' \ll \tau
 \end{array}$$

FIGURE 4.1. Declarative type system of the source language

Sur quoi porte ta thèse ?

Dans ma thèse, je m'intéresse à ce qu'on appelle des systèmes de types pour des langages de programmation. Quiconque ayant utilisé un ordinateur (ou tout autre appareil électronique) sait qu'il y a parfois des bugs. Ces bugs sont souvent dus à des erreurs lors de l'écriture du code, et certains bugs peuvent coûter très cher (l'exemple

classique est celui d'Ariane 5, ayant causé l'auto-destruction de la fusée et coûté plus de 350 millions de dollars). Ainsi, des outils sont développés pour détecter les bugs avant que ceux-ci ne prennent une ampleur démesurée. Les systèmes de types en font partie.

Dans un langage de programmation avec système de types, on associe à chaque valeur ou chaque donnée un "type". Par exemple, on trouvera les types "entier", "nombre à virgule", ou "chaîne de

caractères” (qui correspond aux mots ou phrases). Le système de types s'assure ensuite de la cohérence du programme. Par exemple, si on demande des informations sur un utilisateur, on va vérifier que son âge est bien un entier, et son nom une chaîne de caractères. On s'assure ainsi de détecter une grande classe de bugs avant même l'exécution d'un programme. Chaque système de types a ses avantages et inconvénients pour le programmeur, c'est donc pour cela qu'il existe beaucoup de recherches sur le sujet, et c'est dans ce cadre que s'inscrit ma thèse.

Lien vers sa thèse : [A Semantic Foundation for Gradual Set-Theoretic Types](#)

Tu parles dans ta thèse des types ensemblistes. De quoi s'agit-il ? Et le typage graduel ?

Les types ensemblistes sont des types pouvant faire intervenir des opérations d'union, d'intersection et de négation. Par exemple, si nous disposons d'un type “entier” et d'un type “nombre positif”, nous pouvons aussi construire le type “entier ET nombre positif” comme l'intersection des deux. Cela nous permet d'exprimer des propriétés plus précises sur les données que manipule un programme. Ici, nous pourrions donner à la valeur -4 le type “entier”, mais pas “nombre positif”. De même, nous pourrions donner à la valeur 3.14 le type “nombre positif”, mais pas “entier”. En revanche, nous pourrions donner à la valeur 5 le type “entier ET nombre positif”, ce qui donne beaucoup plus d'informations que simplement “entier” ou “nombre positif”. En allant plus loin, nous pouvons même donner à -4 le type “entier ET PAS nombre positif”, en utilisant les opérations d'intersection et de négation. Nous obtenons ainsi un système de types très expressif, qui nous donne des garanties fortes sur notre programme, au prix d'une complexité bien plus élevée pour le programmeur.

En contrepartie, le typage graduel est une approche moins sûre, mais bien moins complexe pour le programmeur. En résumé, le typage graduel permet à un programmeur d'omettre certains types dans son programme, et de laisser l'ordinateur vérifier la cohérence du programme automatiquement. Cela permet au programmeur de gagner du temps, parfois précieux, mais a l'inconvénient de laisser passer des bugs qui ne seront détectés possiblement qu'après l'exécution du programme. Outre le gain de temps, l'avantage de cette approche est qu'elle permet une transition progressive (graduelle) entre un programme où tous les types ont été omis, et un programme complètement typé. C'est une approche extrêmement utile lorsque l'on a affaire à une grande base de code (parfois plusieurs millions de lignes) et que l'on souhaite y ajouter progressivement des types afin de la rendre plus sûre.

Tu développes également une approche dite de sous-typage sémantique. De quoi s'agit-il ?

L'idée derrière l'approche de sous-typage sémantique est de considérer un type comme un ensemble de valeurs. Par exemple, le type “entier” représente l'ensemble de tous les nombres entiers. Le type “nombre positif” représente l'ensemble de tous les nombres positifs (à virgule ou non). Cela permet d'exprimer très simplement et efficacement des propriétés puissantes, en utilisant des opérations sur les ensembles, comme l'intersection ou l'union d'ensembles. Par exemple, l'intersection entre l'ensemble des nombres entiers et l'ensemble des nombres positifs nous donne l'ensemble des nombres entiers positifs, et correspond exactement à l'intersection des types “entier” et “nombre positif” dans un programme. La théorie des ensembles ayant quelques siècles d'avance sur la théorie des langages de programmation, cela nous permet de réutiliser de nombreux résultats et théorèmes existants dans notre théorie. Dans ma thèse, nous avons adapté cette approche à la fois aux types ensemblistes et aux types graduels, afin d'en proposer une théorie unifiée.

Dans quelle(s) utilisation(s) concrète(s) ta recherche pourrait-elle s'appliquer ?

Il existe encore de nombreuses bases de code qui ne contiennent aucun type et dans lesquelles se cachent de nombreux bugs. Ces bases de code ont souvent plusieurs décennies et peu de gens sont capables de les comprendre dans leur totalité, les programmeurs originels n'étant souvent plus disponibles. Ainsi, y dépister des bugs peut s'avérer extrêmement long et coûteux, et réécrire ce code est une tâche souvent risquée. Y ajouter un système de types est un bon moyen d'y dénicher et corriger des bugs sans pour autant avoir besoin de comprendre l'entièreté du code. Le principal avantage du typage graduel est qu'il est possible de travailler très progressivement sur le code, ce qui fait du typage de plusieurs millions de lignes de code une tâche abordable. L'avantage du sous-typage sémantique et des types ensemblistes est qu'ils permettent de s'adapter à des bases de codes très complexes, qui n'ont initialement pas été développées pour être typées plus tard.

Maintenant que tu as soutenu ta thèse est soutenue, sur quoi te concentres-tu ?

Je suis désormais ingénieur chez Meta (anciennement Facebook) où et je travaille sur le développement d'un système de types pour Erlang, un langage initialement non-typé. Au quotidien, j'applique plus ou moins directement les travaux de ma thèse. Voir ces travaux mis en œuvre sur des bases de code aussi larges que celles disponibles chez Meta est pour moi très stimulant.

Farzad Jafarrahmani: About mathematical logic



“Generally, I am interested in mathematical logic (proof theory) and its connections with Algebra through semantics. This is what I have done in my thesis for a specific logic.” **Farzad Jafarrahmani, former PhD student at IRIF.**

Link to his PhD thesis: Fixpoints of Types in Linear Logic from a Curry-Howard-Lambek Perspective

Could you introduce yourself?

My name is Farzad Jafarrahmani, I grew up in Qazvin, Iran. In 2012, I started my bachelor at Sharif university of Technology, Tehran via a national competition, called Concours. At the beginning, I chose three different trainings in order of priority: 1) Physics 2) Computer Science 3) Mathematics. My grades were too low to be accepted for Physics, so I started studying computer science. I obtained my bachelor with a double degree training in computer science and mathematics in 2017. I continued with a master in the MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) program at Ecole normale supérieure de Cachan. In 2018, I did one of my internships at IRIF under the supervision of Thomas Ehrhard. In 2019, Thomas Ehrhard and Alexis Saurin (IRIF) graciously accepted me as a PhD student.

How did you end up doing research?

I was always so keen to think and understand mathematical problems, especially on geometry. This interest seriously started by attending the **Mathematics Olympiad** when I was 13 years old. During my bachelor degree, I was curious to know how I can write articles in the field of geometry. My professor **Alireza Bahraini** kindly directed me to some books on Algebraic geometry which were hard for me to understand.

When I saw mathematical logic applied for the first time in a general math course given by Rasoul Ramezani, I was even more curious for other references in **mathematical logic** and especially on **intuitionistic logic**. What was interesting in those references was how mathematicians solve problems, the functionality of the human brain. From now on, I knew I wanted to develop a machine (computer) to compute the probability of being true or false of a mathematical conjecture. I thought this is related to the field of biological mathematics so I attended a **journal club in cognitive science** at the Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM) in Tehran.

My curiosity for this subject led me to do **two research internships with Joxan Jaffar and Anthony Widjaja Lin** at the National University of Singapore and Yale-NUS College in summer of 2015 and 2016, and I also worked remotely for two years (2015-2016) with Yuanlin Zhang in Texas Tech University. I finally finished my bachelor thesis on the relation of algebra (ordered field) and mathematical logic under supervision of **Mohammad Gholamzadeh Mahmoudi**.

Now, I feel that my PhD topic was really close to what I always was interested into. I was so lucky to meet the right people during this path, and I am so thankful to all the people and friends that helped me a lot during my studies and research.

Could you explain what is your thesis about?

$$\frac{\frac{\vdash \Delta, A \quad \vdash ?\Gamma, A^\perp, F [A/\zeta]}{\vdash \Delta, ?\Gamma, \nu\zeta F}}{!Y \otimes \overline{\nu\mathbb{F}}(\vec{X}) \xrightarrow{\mathbb{F}_{Y, \vec{X}, \overline{\nu\mathbb{F}}(\vec{X})}} \mathbb{F}(!Y \otimes \vec{X}, !Y \otimes \overline{\nu\mathbb{F}}(\vec{X}))}$$

$$\begin{array}{ccc} \overline{\nu\mathbb{F}}_{Y, \vec{X}} \downarrow & & \downarrow \mathbb{F}(!Y \otimes \vec{X}, \overline{\nu\mathbb{F}}_{Y, \vec{X}}) \\ \mathbb{F}(!Y \otimes \vec{X}, \overline{\nu\mathbb{F}}(!Y \otimes \vec{X})) & \longequal{\quad\quad\quad} & \overline{\nu\mathbb{F}}(!Y \otimes \vec{X}) \end{array}$$

Generally, I am interested in **mathematical logic (proof theory)** and its connections with Algebra through semantics. And this is what I have done in my thesis for a specific logic. This logic that I focused on is an extension of **linear logic with fixed points operator**.

What is the Curry-Howard-Lambek perspective?

What I understand intuitively from **Curry-Howard-Lambek correspondence** is that it creates a correspondence between three areas of mathematical logic, computation theory, and mathematics. This started first by Curry-Howard correspondence which says how we can obtain a computational point of view on mathematical logic, and then it extended to Curry-Howard-Lambek correspondence to see that notion of computation as some concrete objects of mathematics.

You mention in your thesis a categorical semantics of MULL that you have developed. Could you explain what is it about?

MULL is that specific logic that I mentioned above, extension of linear logic with fixed point operator. By **categorical semantics of MULL**, I mean looking at MULL from a Curry-Howard-Lambek perspective. That intuitively means that we tried to relate this logic (MULL) to the objects of the mathematics world, and also studying computational behavior of that logic.

In which concrete circumstances could your work be applied on?

In a broad sense, what we did can have applications in the **field of programming languages**. What I understand is that developing a programming language can be a very complicated job, as usually there are many different options to implement an idea or a property. So, the first question is how the developer should decide between those different options. This question is what I call the syntactical question. One way to answer the question is to try to abstract the required property in a formal language, and translate those different options in that language as well. And then see what kind of information one can obtain by studying the syntactical question in that formal language. And why not consider mathematics as that formal language? So, if one wants to implement MULL in a programming language, the first question can be the syntactical question.

Now that you defended your thesis, what are you focusing on?

I am actually continuing what I started in my PhD. I am currently doing a postdoc at the Sorbonne Université in the LIP6 laboratory, and working on similar subjects to my PhD.