

Rapport d'activités

Parcours universitaire

Licence. Pour ma licence, j'ai étudié entre 2016 et 2019 à l'université McGill au Canada. J'ai obtenu un diplôme intitulé *Baccalauréat en sciences* dans le domaine des mathématiques et de l'informatique avec un mention *Honours*.

Master. Pour mon master, j'ai étudié entre 2019 et 2021 à l'ENS de Lyon, en France. J'ai obtenu un diplôme intitulé *MASTER SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTÉ, mention Informatique* avec un parcours type informatique fondamentale. J'ai effectué deux stages de recherches durant cette période. Le premier, en 2020, était encadré par Matteo Mio et Valeria Vignudelli. Nous avons étudié des axiomatisations algébriques, quantitatives ou non, de différents modèles de calcul combinant des choix non-déterministes, des choix probabilistes, et une possible terminaison. Le deuxième, en 2021, était encadré par Daniela Petrişan. Nous avons étudié les lois distributives faibles entre monades.

Doctorat. Pour mon doctorat, j'ai étudié entre 2021 et 2024 au Laboratoire d'Informatique du Parallélisme de l'ENS de Lyon, en France. J'ai obtenu un diplôme intitulé *Docotrat de l'ENS de Lyon* avec la spécialité Informatique. Mon directeur de thèse était Matteo Mio, chargé de recherche au CNRS affilié au LIP (UMR 5668), et ma co-encadrante était Valeria Vignudelli, chargée de recherche au CNRS affiliée au LIP (UMR 5668). Le titre de ma thèse est *Relèvement du raisonnement algébrique aux espaces métriques généralisés*. Les autres membres de mon jury sont listés ci-dessous.

- Professeur Jirí Adámek (rapporteur), Czech Technical University in Prague
- Professeur Gordon Plotkin (rapporteur), University of Edinburgh
- Professeure Christine Tasson (présidente), ISAE Suparéo
- Professeur Rory B. B. Lucyshyn-Wright, Brandon University

Expériences professionnelles

Postes académiques:

- Postdoctorant au PPLV (University College London). Octobre 2024 – En cours
- Stage de recherche à l'IRIF (Université de Paris). Février – Juin 2021
 - Travail sur les lois distributives faibles supervisé par Daniela Petrişan.
- Stage de recherche au LIP (ENS de Lyon). Avril – Juillet 2020
 - Travail sur les présentations algébriques de monades supervisé par Matteo Mio et Valeria Vignudelli.

Enseignement:

- Activité complémentaire (ACE) à l'ENS de Lyon. 2021 – 2024
 - Travaux dirigés pour *Semantique et vérification* et *Preuves et programmes* (total de 100 heures).
- Enseignant et organisateur d'un séminaire étudiant sur les catégories. 2018 – 2023
 - Cours magistraux, notes de cours, et devoirs pour une introduction à la théorie des catégories sur un semestre à McGill et l'ENS de Lyon.
 - Supervision de deux cohortes d'étudiants enseignants à l'ENS de Lyon.
- Assistant à l'université McGill. Septembre – Décembre 2018
 - Permanence et correction pour *Theory of Computation*.

Médiation:

- Animateur bénévole à la MMI. 2023 – 2024

- Ateliers et exposition *Dans ma cuisine* (sur les maths et l’info) pour des étudiants de 13 à 18 ans.
- Superviseur de stage bénévole pour UPBS. *Avril 2022, 2023, et 2024*
 - Initiation à la recherche d’une semaine sur les diagrammes de fils pour des étudiants de 16 à 17 ans.
- Enseignant et aide-enseignant à DMA. *Juillet 2015 et 2017*
 - Cours de programmation et d’électronique dans un camp de jour pour des étudiants de 8 à 17 ans.

Activités d’enseignement

Voilà une liste des cours que pour lesquels j’ai eu un rôle d’enseignant ou de chargé de TD.

Semantique et Vérification (2021, 2022, et 2023)

Syllabus. Ce cours s’intéresse à l’étude de différents types de modèles de calcul et des propriétés de leurs comportements qui peuvent être vérifiées automatiquement. Il aborde les systèmes de transitions étiquetés, les propriétés temporelles linéaires, la théorie des ordres, la topologie, la logique temporelle linéaire, la bisimulation, la logique modale.

Rôle. Chargé de TD via une ACE. Mes responsabilités étaient de préparer une feuille d’exercices avec des solutions avant chaque TD, de diriger les sessions de TD, et de communiquer avec l’enseignant sur l’atteinte des différents objectifs du cours.

Informations additionnelles. Total de 62 heures équivalent TD avec des groupes d’environ 15 étudiants en master d’informatique à l’ENS de Lyon. L’enseignant était Colin Riba.

Preuves et Programmes (2023)

Syllabus. Ce cours s’intéresse à des résultats simples et plus avancés autour de la correspondance entre les preuves et les programmes (Curry–Howard). Il aborde le lambda calcul simplement typé, la déduction naturelle intuitionniste et classique, le système T, le système F, les preuves de normalisation forte, et la paramétrie.

Rôle. Chargé de TD via une ACE. Mes responsabilités étaient de préparer une feuille d’exercices avec des solutions avant chaque TD, de diriger les sessions de TD, et de communiquer avec l’enseignant sur l’atteinte des différents objectifs du cours.

Informations additionnelles. Total de 20 heures équivalent TD avec des groupes d’environ 15 étudiants en master d’informatique à l’ENS de Lyon. L’enseignant était Michele Pagani.

Preuves et Programmes (2022)

Syllabus. Ce cours s’intéresse à des résultats simples et plus avancés autour de la correspondance entre les preuves et les programmes (Curry–Howard). Il aborde l’assistant de preuve Coq, le lambda calcul simplement typé, la déduction naturelle intuitionniste et classique, le système T, les catégories cartésiennes fermées, et la correspondance de Curry–Howard–Lambek.

Rôle. Chargé de TD via une ACE. Mes responsabilités étaient de préparer une feuille d’exercices avec des solutions avant chaque TD, de diriger les sessions de TD, et de communiquer avec l’enseignant sur l’atteinte des différents objectifs du cours.

Informations additionnelles. Total de 20 heures équivalent TD avec des groupes d'environ 15 étudiants en master d'informatique à l'ENS de Lyon. L'enseignant était Colin Riba.

Théorie des Catégories (2019-2021 et 2023)

Syllabus. Ce cours introduit les bases de la théorie des catégories avec des exemples venant de différents domaines des mathématiques et de l'informatique. Il aborde, les catégories, les foncteurs, les (co)limites, les propriétés universelles, les transformations naturelles, le lemme de Yoneda, les adjonctions, et les monades.

Rôle. Enseignant volontaire. Mes responsabilités ont évolué au cours du temps. À la première itération de ce cours, j'ai préparé chaque cours avec des notes de cours les accompagnants, et j'ai donné des cours magistraux pendant le semestre d'été à l'université McGill. Le cours n'était pas officiel. J'ai repris la même formule pour la deuxième itération (en visioconférence) après avoir adapté le contenu des cours et des notes. Pour la troisième itération, en 2020, j'ai été accompagné par trois autres étudiants pour enseigner le cours à l'ENS de Lyon. Nous avons repris une formule similaire, mais nous avons inclus des travaux dirigés et des devoirs pour pouvoir récompenser les participants de crédits facultatifs (crédits École). En 2021 et 2023, j'ai occupé un rôle de superviseur: d'autres étudiants donnaient les cours magistraux (à l'ENS de Lyon) basés sur mes notes, et je les aidais à préparer chaque cours en donnant des retours complets. Les notes de cours sont disponibles ici.

Informations additionnelles. Total d'environ 40 heures en classe avec des groupes de 10 à 20 étudiants en licence ou master de mathématiques ou d'informatique.

Theory of Computation (2018)

Syllabus. Ce cours s'intéresse à des modèles simples de calcul, et à l'étude et la comparaison de leur expressivité. Il aborde les automates (non-)déterministes, les expressions régulières, les grammaires non contextuelles, les machines de Turing, la décidabilité, et les réductions.

Rôle. Aide-enseignant. Mes responsabilités étaient de tenir des permanence pour répondre aux questions des étudiants, et corriger les devoirs et les examens partiels.

Informations additionnelles. L'enseignant était Prakash Panangaden. Les participants étaient des étudiants en licence d'informatique à l'université McGill.

Activités de recherche

Chercheur post-doctorant à UCL (2024-En cours)

Depuis le mois d'octobre 2024, je suis un chercheur post-doctorant à University College London (UCL) à Londres. Je travaille avec Fabio Zanasi sur la conception de langages diagrammatiques pour l'étude des programmes combinant les choix non-déterministes et probabilistes. Cette recherche se situe dans le contexte de la conception d'outils pour la conception et la vérification des modèles d'intelligence artificielle. Ma position a été financée par le programme *Safeguarded AI* de l'agence gouvernementale anglaise ARIA.

Nous avons déjà obtenu une axiomatisation avec des diagrammes de cordes gradés pour une catégorie de matrices stochastiques introduites par Liell-Cock et Staton en 2024. Nous sommes en train d'écrire un article pour présenter ce résultat à une conférence internationale sous peu.

Thèse (2021-2024)

Pendant mon doctorat, j'ai travaillé avec Matteo Mio et Valeria Vignudelli sur la théorie et l'application des algèbres quantitatives. Ces dernières ont été introduites par Mardare et al. en 2016 dans le but d'étudier les distances entre des programmes modélisés avec des opérations algébriques. En particulier, la distance de Kantorovich entre les distributions de probabilités a été ainsi caractérisée. Notre travail a consisté à étendre le cadre originel des algèbres quantitatives pour ouvrir le champ des axiomatisations possibles, tout en gardant l'élégance et la simplicité des travaux de Mardare et al. Nous avons publié deux papiers sur ce sujet pendant ma thèse à la conférence LICS'22 et dans le journal LMCS'24.

Séjour scientifique à UCL (Juillet 2023)

J'ai été invité pour une visite de recherche de deux semaines à UCL par Fabio Zanasi en juillet 2023. Nous avons commencé l'étude d'un cadre combinant le raisonnement diagrammatique (utilisant les diagrammes de cordes) et le raisonnement algébrique quantitatif. Ce sont deux généralisations du raisonnement algébrique qui étendent l'applicabilité de ce dernier aux programmes informatiques qui, respectivement, sont sensibles à l'utilisation des ressources et ont besoin d'un outil de comparaison plus fin que l'équivalence exacte. Fabio Zanasi étant un expert du raisonnement diagrammatique, et moi un expert du raisonnement algébrique quantitatif, nous avons joint nos efforts afin de lancer une investigation sur le raisonnement diagrammatique quantitatif. Nous avons écrit un article en collaboration avec Gabriele Lobbia et Wojciech Różowski que nous comptons soumettre à une conférence internationale sous peu.

Séjour scientifique à McGill (Automne 2022)

J'ai été invité pour une visite de recherche d'un semestre à l'université McGill par Prakash Panangaden en automne 2022. Nos recherches portaient sur l'axiomatisation d'autres distances sur les distributions de probabilités. Nous n'avons pas obtenu de résultats assez conséquents pour considérer l'écriture d'un article.

École de recherche ACT (Juillet 2022)

J'ai participé à l'école de recherche *ACT Adjoint School* organisée à l'université Strathclyde à Glasgow en Juillet 2022. J'ai travaillé avec Filippo Bonchi, Chad Nester, Nathan Haydon, Phoebe Klett, et Rowan Pokliewski. Nos recherches portaient sur la conception d'un langage diagrammatique pour modéliser des programmes informatiques impératifs. Nous nous sommes basés sur les diagrammes de bande introduits par Bonchi et al. en 2022, et nous avons démontré la faisabilité d'implanter la logique de Hoare dans ces diagrammes en ajoutant une structure de trace. Nos travaux préliminaires ont inspiré la rédaction d'un article déposé sur arXiv.

Stage de recherche à l'IRIF (2021)

J'ai effectué un stage de recherche à l'IRIF (UMR 8243) de cinq mois en 2021 sous la supervision de Daniela Petrişan. Nos recherches portaient sur les lois distributives faibles et les semialgèbres. Ce sont des objets mathématiques abstraits qui ont récemment été utilisés dans l'étude coalgébrique de la sémantique de programme, et nous avons poursuivi l'étude plus théorique de leurs propriétés. Nous avons publié un article basé sur ces travaux à la conférence internationale MFPS'21.

Stage de recherche au LIP (2020)

J'ai effectué un stage de recherche au LIP (UMR 5668) de trois mois en 2020 sous la supervision de Matteo Mio et Valeria Vignudelli. Nous avons étudiés les présentations algébriques de monades modélisant des programmes combinant des choix non-déterministes, des choix probabilistes, et une possible terminaison. Nous avons obtenu plusieurs axiomatisations d'équivalences exactes et de métriques sur ces programmes, ainsi qu'une preuve d'impossibilité d'axiomatisation. Nous avons publié nos résultats dans un article à la conférence internationale LICS'21.

Médiation

Pendant mon doctorat, j'ai supervisé des stages d'une semaine pour des lycéens de 16 à 17 ans, avec pour objectif de les initier à la recherche scientifique. J'ai accueilli un étudiant en 2021, puis deux en 2022 et 2023. Nous avons exploré ensemble les bases des diagrammes de cordes, travaillé sur des questions qu'ils proposaient eux-mêmes, et ils ont préparé une présentation de leurs expériences pour d'autres stagiaires.

J'ai également été bénévole à la Maison des Mathématiques et de l'Informatique (MMI), où j'animais des visites guidées et des activités interactives pour des élèves de 13 à 18 ans. Mon objectif principal était de rendre les mathématiques et l'informatique accessibles et amusantes, en contrebalançant les perceptions négatives souvent associées à ces disciplines. J'ai aussi participé à des ateliers collaboratifs pour concevoir de nouvelles activités éducatives pour la MMI.

Liste des publications

Conférences internationales:

- Matteo Mio, Ralph Sarkis, and Valeria Vignudelli. Beyond nonexpansive operations in quantitative algebraic reasoning. In *Proceedings of the 37th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '22, New York, NY, USA, 2022*. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450393515. doi: 10.1145/3531130.3533366. URL <https://doi.org/10.1145/3531130.3533366>
- Daniela Petrişan and Ralph Sarkis. Semialgebras and weak distributive laws. In Ana Sokolova, editor, *Proceedings 37th Conference on Mathematical Foundations of Programming Semantics, MFPS 2021, Hybrid: Salzburg, Austria and Online, 30th August - 2nd September, 2021*, volume 351 of *EPTCS*, pages 218–241, 2021. doi: 10.4204/EPTCS.351.14. URL <https://doi.org/10.4204/EPTCS.351.14>
- Matteo Mio, Ralph Sarkis, and Valeria Vignudelli. Combining nondeterminism, probability, and termination: Equational and metric reasoning. In *2021 36th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS)*, page 1–14, 2021. doi: 10.1109/LICS52264.2021.9470717. URL <https://arxiv.org/abs/2012.00382>

Journaux:

- Matteo Mio, Ralph Sarkis, and Valeria Vignudelli. Universal quantitative algebra for fuzzy relations and generalised metric spaces. *Logical Methods in Computer Science*, Volume 20, Issue 4:19, Dec 2024. ISSN 1860-5974. doi: 10.46298/lmcs-20(4:19)2024. URL <https://lmcs.episciences.org/12339>

Les trois articles publiés dans des conférences internationales sont les plus visibles. Ils concernent tous l'étude des spécifications algébriques pour les programmes informatiques.

Les méthodes algébriques ont été utilisées par de nombreux pionniers des fondations mathématiques de l'informatique (Scott, Goguen, Plotkin, Hyland, Moggi, etc.) pour concevoir des modèles importants en sémantique de programmes. Avec l'essor

de l'apprentissage automatique dans des applications concrètes, la communauté des chercheurs en langages de programmation souhaitent disposer de bonnes méthodes pour étudier les programmes basés sur des choix probabilistes et des raisonnements statistiques. À cet égard, le paradigme prometteur de la programmation probabiliste a été l'objet d'études théoriques et a été appliqué avec succès. Au cours de ces progrès, il est devenu évident que l'approche classique des équivalences comportementales était inadéquate pour distinguer les situations où deux programmes ont un comportement complètement différent, et les situations où deux programmes ont presque toujours le même comportement.

Une méthode plus appropriée dans ce contexte est de travailler avec des distances comportementales : deux programmes sont proches l'un de l'autre lorsqu'ils ont un comportement similaire avec une forte probabilité. Cependant, la pléthore de résultats existants sur les spécifications algébriques ne permet pas d'obtenir directement des notions de distance. Or, les choix probabilistes peuvent être modélisés algébriquement, ce qui est très insatisfaisant. Dans un article fondateur, Mardare, Panangaden et Plotkin proposent une solution possible à cette situation délicate et traitent simultanément le raisonnement métrique et algébrique. Ils l'appellent la logique équationnelle quantitative. Leurs recherches ont déjà abouti à plusieurs résultats sur les distances comportementales pour les modèles informatiques avec des opérations probabilistes.

Dans les articles publiés à LICS, nous avons prolongé la liste des axiomatisations algébriques de distances entre programmes comprenant des choix probabilistes ou non-déterministes, et même ceux qui manipulent des états terminant. Pour traiter davantage d'exemples, nous avons dû étendre considérablement le cadre originel des algèbres quantitatives pour passer outre certaines restrictions imposées par Mardare et al.

L'article publié à MFPS ne concerne pas le raisonnement quantitatif. Nos travaux étaient motivés par de récentes découvertes en sémantique coalgébrique qui reposaient sur les lois distributives faibles et leur connexion avec les semialgèbres. Nos résultats ont à leur tour influencé les recherches d'un groupe à Amsterdam qui a écrit deux nouveaux articles, un résolvant une conjecture que nous avons émise.

Ma contribution dans tous les articles est égale à celle de mes co-auteur·ices.

Responsabilités collectives et administratives

J'ai évalué des articles pour les conférences internationales FSCD 2023, FoSSaCS 2023, et LICS 2024, et pour le journal LMCS.