

# Enquête sociologique sur les collaborations mathématiques-entreprises

par :

Gilles STOLTZ<sup>1</sup> — Laboratoire de mathématiques  
d'Orsay, Université Paris-Saclay, CNRS

Un beau jour de janvier 2019, au début de la Semaine d'étude maths-entreprises à Orsay, j'ai rencontré Géraldine Favre. Elle nous était recommandée par Grégoire Allaire, à qui elle avait parlé d'un projet qui lui tenait à cœur après une première vie professionnelle dans le monde de la finance : mener une étude sociologique sur les relations mathématiques-entreprises. Ce projet a enthousiasmé AMIES, pour le compte de qui j'ai eu le plaisir d'être le contact principal de Géraldine Favre au sein de la communauté mathématique. Géraldine Favre a pris le temps d'écouter au total plus de 90 actrices et acteurs de ces relations, essentiellement du côté académique, mais aussi à plusieurs niveaux hiérarchiques dans des entreprises, grandes et petites. Ecouter, pour une sociologue, signifie aussi et surtout devoir transcrire des heures d'enregistrements avant même d'analyser le matériau. Quel travail de longue haleine !

Cet article vise à résumer, partiellement et partialement, quelques enseignements du rapport produit [1], long et fourni. J'encourage vivement à lire (au moins, feuilleter) ce rapport, qui laisse une grande place aux verbatims : il est si intéressant de découvrir le regard, amusé, distancié, vif, piquant, mais jamais neutre, que les collègues portent sur ces si vivantes et humaines relations mathématiques-entreprises.

Dans son enquête sociologique [1], Géraldine Favre étudie les collaborations maths-entreprises au niveau des actrices et acteurs mathématiciens : pourquoi et comment ces derniers font-ils résonner travaux théoriques et solutions utiles

1. [gilles.stoltz@universite-paris-saclay.fr](mailto:gilles.stoltz@universite-paris-saclay.fr)

aux entreprises? L'entreprise désire parfois une solution rapide à un problème concret quand le mathématicien<sup>2</sup> cherche en général un problème complexe mais générique à formaliser et résoudre. Au-delà de ce malentendu initial, pétri d'attentes et de temporalités différentes, chacun peut y gagner. Une large partie du rapport dresse le portrait des mathématiciens se lançant dans l'aventure de ces collaborations. Qui sont-ils et quelles sont leurs motivations?

## Portrait et motivations : Collaboration maths-entreprises, un état absorbant

Leurs qualités principales consistent en la curiosité, le goût de la transmission, et une bonne dose de confiance : savoir se remettre en question, oser partir de zéro, admettre ne pas savoir. En effet, l'entreprise peut poser un problème pour lequel le mathématicien devra utiliser également des outils créés par d'autres mathématiciens, hors de son domaine d'expertise, voire, créer un outil qui n'existe pas encore. Comme nous le reverrons plus tard, de nombreuses collaborations mobilisent actuellement des approches multi-mathématiques ou partent des problématiques réelles de l'entreprise, loin d'une logique ancienne de transfert par un spécialiste d'un outil qu'il avait développé.

Le premier étonnement de l'œil extérieur de la sociologue, c'est que ces collaborations ne se décrètent pas, mais se choisissent : aucune contingence (pression institutionnelle ou besoin de financement) ne saurait à elle seule susciter une collaboration. Un déterminant principal, c'est d'entretenir un rapport amoureux au réel : le mathématicien cherche un terrain pour mettre à l'épreuve les abstractions mathématiques, développées par lui ou par d'autres... pour le simple plaisir de cette confrontation, pour le simple plaisir de relever le défi de « vrais » problèmes.

Plaisir est un maître-mot : l'enquête relève qu'une fois qu'un mathématicien a goûté aux collaborations maths-entreprises, il continue d'en réaliser une partie de son temps. La collaboration forme, au sens des chaînes de Markov, un état absorbant. L'initiation est en général effectuée par un pair académique, d'autant plus que les collaborations se jouent souvent en équipes, mêlant mathématiciens

2. L'enquête sociologique n'a pas pu aborder les collaborations mathématiques-entreprises sous le prisme du genre, faute de temps face à un matériau d'enquête extrêmement riche. Dans ce résumé, comme dans l'enquête sociologique, « mathématicien » désigne de manière générique les mathématiciennes et les mathématiciens, définis comme les docteurs en mathématiques effectuant encore des travaux de recherche ou de développement en mathématiques, au sein du monde académique sauf mention contraire.

académiques de toutes expériences et fonctions (enseignants-chercheurs et chercheurs en poste, doctorants et post-doctorants, ingénieurs de recherche). Chaque membre contribue de manière significative au succès, en jouant sa partition : cela suppose malgré tout l'animation du collectif par un chef d'orchestre, appelé pilote-intercesseur dans le rapport.

Pour les plus gros projets, mêlant des mathématiques de divers horizons, y compris fondamentaux, ce pilote-intercesseur assure, de manière critique et en autant d'allers-retours que nécessaires, la traduction des besoins de l'entreprise en un problème mathématique, à formaliser ou modéliser puis résoudre, et la communication des solutions mathématiques apportées. Le pilote-intercesseur œuvre sur une ligne de crête, qui doit concilier la qualité de la solution industrielle et l'intérêt mathématique du problème tiré de la question originelle, devant conduire à la création de nouvelles approches et pas simplement nécessiter l'application de méthodologies éprouvées.

## **Des possibilités infinies de collaborations : Préférer une posture de réponse plus que de transfert**

Le rapport fait émerger Jacques-Louis Lions comme figure tutélaire de la montée en puissance des collaborations maths-entreprises, dans les années 1970. Les équipes qui collaborent sont petites et regroupées dans quelques laboratoires spécialisés, les partenaires industriels partagent la même culture scientifique, et les collaborations s'inscrivent dans la durée. Il s'agit essentiellement de grands groupes œuvrant dans des secteurs stratégiques et de pointe, comme l'énergie, l'aéronautique, la défense. Les notions de systèmes et interactions caractérisent déjà des problèmes complexes, vus sous un angle multi-mathématiques, notamment à travers des couplages analyse numérique et probabilités.

L'ère numérique dans laquelle la société tout entière est entrée a ouvert subitement des horizons complémentaires à ce mode de collaboration traditionnel et solide, qui perdure. Des entreprises désormais très diverses, y compris petites ou de taille intermédiaire, disposent de gisements de données, qui rendent les frontières praticables entre la réalité industrielle et l'abstraction mathématique. Une autre logique des collaborations s'est mise en place, comme réponse à un problème inconnu posé par une entité inconnue ; de telles collaborations semblent toutefois plus ponctuelles. Cette nouvelle logique pousse encore davantage le mathématicien hors de sa zone d'évolution naturelle, qui se situe en surplomb. En un sens, cette logique consiste en une approche « bottom-up » s'opposant à des vœux pieux « top-down » de transferts technologiques.

La genèse d'AMIES et du réseau MSO illustre la volonté, insufflée tant par les instances de pilotage (Ministère, CNRS, Inria) que par la communauté mathématique elle-même, de transmettre et mettre en œuvre efficacement cette philosophie de réponses à des besoins industriels. Il s'agit, en complément des collaborations maths-entreprises « accidentelles », suscitées par le hasard des rencontres personnelles, de pouvoir structurer la capacité de la communauté mathématique à démontrer et mettre en œuvre ce qu'il est convenu d'appeler la déraisonnable efficacité des mathématiques. Communauté : le mot est prononcé. C'est l'arme secrète des mathématiciens pour offrir des collaborations de qualité et utiles sans y perdre leur âme.

## La communauté mathématique, vecteur d'unité et tremplin

Le rapport dresse l'ethos de la communauté mathématique, qui fédère aujourd'hui quelques milliers de membres. Cet ethos trouve ses fondements dans l'approche du groupe Bourbaki, qui a posé de manière collective les fondements unifiés des mathématiques modernes. En l'occurrence, la communauté mathématique dépasse toutes les frontières : conceptuelles, organisationnelles, nationales, et fonctionne en réseau. Elle tolère et respecte les clivages qui la traversent. Elle favorise le travail collectif et s'attache à l'autonomie de chacun. Elle encourage son renouvellement et la place des plus jeunes. La communauté mathématique en France est un monde social à part entière qui, par le rôle pris par la discipline dans la société, peut avancer sur les terres des mondes sociaux traversés par le numérique sans s'y perdre.

Ce nomadisme social se double d'un nomadisme géographique : une demande de collaboration adressée à laboratoire local ou à un réseau national pourra être étudiée en lien avec un laboratoire expert du sujet, où qu'il soit en France. Plus important encore, la communauté assure l'unité et permet le nomadisme des approches multi-mathématiques : un mathématicien spécialiste d'une approche peut aisément s'associer à un mathématicien expert d'une autre approche. Plus fondamentalement encore, la communauté offre un espace de réflexion et d'inscription dans le temps long, qui permet d'inscrire les nouveaux paradigmes dans la continuité de l'histoire des mathématiques. C'est ainsi qu'aux yeux des mathématiciens, l'« intelligence artificielle » [IA] n'existe pas en dehors de la statistique et des risques de « non »-pensée hégémonique que l'IA fait peser.

Il est difficile, à ce stade, de ne pas évoquer une anecdote croustillante présente dans le rapport : l'histoire d'un mathématicien en entreprise qui présente en

conférences internationales des idées, qu'il n'arrive pas à faire accepter en interne, pour que le concurrent de son entreprise, et donc finalement son entreprise, s'en emparent. On peut donc voir la communauté mathématique comme un tremplin, un espace protecteur, et même un espace nourricier et de ressourcement. Toutefois, il apparaît à l'étude, dans les discours des mathématiciens interrogés, qu'en termes de ressourcement, deux liens sont à préserver.

## Maintenir le lien à la source... oui, mais laquelle ?

L'apport principal du rapport consiste sans nul doute en l'identification de deux sources auxquelles le mathématicien aimant collaborer avec les entreprises désire s'abreuver : le monde académique, où les mathématiques les plus actuelles se font, au meilleur niveau, et l'entreprise, comme moyen d'accès au réel, aux données et aux problèmes les plus intéressants.

Plusieurs stratégies émergent, pour réaliser ce désir d'abreuvement aux deux sources : rester fermement dans le monde académique et l'utiliser comme plaque tournante ; concilier, mais à un niveau modeste, recherche académique et implication entrepreneuriale ; mener des allers-retours entre monde académique et entreprise, sous la forme de salarié ou de créateur d'une entreprise. La dernière stratégie peut donner lieu à des trajectoires professionnelles déviant des normes académiques (et des normes en entreprise) et peinant à être reconnues, sur le plan symbolique, à la hauteur des bénéfices apportés à la communauté tout entière, notamment en termes de retombées pour l'enseignement au niveau master et le placement des étudiants correspondants. Le rapport étudie en détails une telle carrière professionnelle, et en identifie les étapes psychologiques : une grande ouverture, transformée en une prise de risque, après laquelle il faut gérer les ambiguïtés entre forces et formes, jusqu'à se stabiliser, lorsque les circonstances heureuses le permettent, dans une prise de distance, soutenue par une institutionnalisation de la reconnaissance.

La déviation des normes académiques, pour ces trajectoires, consiste essentiellement en une moindre production d'articles scientifiques, ce qui ne signifie pas en soi une moindre production de science, mais plutôt une valorisation différente de cette science créée. Nous touchons là, d'ailleurs, une des premières limites aux collaborations maths-entreprises, qui est celle des objectifs et temporalités *a priori* divergents entre mathématiciens académiques et entreprises.

## **Limite 1 (frictionnelle) : Malentendus et intérêts mal alignés**

L'argent n'est pas une motivation principale, côté académique, pour monter une collaboration : le rapport est muet à ce sujet, aucun sondé n'ayant réellement évoqué ce point. Les collaborations recherche sont en effet des engagements réciproques vers un but scientifique commun, pour lesquels les entreprises n'offrent qu'une petite contrepartie financière au laboratoire. L'idéal est que la collaboration débouche sur une solution pour l'entreprise et une publication pour l'équipe académique.

Ce cadre de collaboration recherche tranche avec celui des prestations plus classiques, où un laboratoire peut être rémunéré par une entreprise pour mener à bien une œuvre scientifique, souvent moins ambitieuse et de résultat plus garanti ; dans ce cas, le coût complet du projet est pris en charge par l'entreprise, qui fixe le cap du travail et ses échéances.

Dans la liste des malentendus fréquents, figure la question de la posture de l'entreprise : vraie collaboratrice ou simple donneuse d'ordre ? Un deuxième malentendu courant concerne la temporalité du déroulement du projet, entre les échéances à quelques mois voire semaines de certaines entreprises, notamment les jeunes pousses, et les échéances à deux ou trois années du monde académique (et parfois des grands groupes). Ces malentendus ne sont que frictionnels, passagers et voués à disparaître : les mathématiciens cherchant des problèmes exigeants, ils sauront, avec l'expérience, passer leur chemin face à des problèmes ne les mettant pas au défi. Des initiatives d'interface, comme celles de la plateforme LinkedInnov ou l'AMIES, permettent d'apporter un cadre, un soutien et une visibilité aux nouveaux entrants, en leur facilitant leur première expérience et en leur permettant d'intégrer un réseau, qui pourra les préserver de ces écueils.

## **Limite 2 (scientifique donc conjoncturelle ?) : Approches hybrides analyse – statistique**

Une seconde limite, de nature tout à fait scientifique, a émergé des récits collectés par le rapport : la difficulté des approches hybrides de modélisation analytique et de modélisation stochastique (traitement statistique). Classiquement, malgré la nécessité d'approches multi-maths, se présentait souvent une zone grise de choix de méthodes où il pouvait être arbitré entre différentes approches, analytique ou statistique. Le désir d'hybrider les deux approches, par exemples pour créer des « jumeaux numériques », se heurte, sur le terrain, à un choc des

cultures mathématiques. En effet, les cultures de modélisations analytique et statistique diffèrent par le statut qu'elles accordent aux données : moyens de valider une modélisation analytique respectant les principes physiques ou source même et justification de la modélisation statistique. Transcendance contre immanence, droit romain contre découverte des règles par « common law », dans tous les cas, deux pays séparés par le miroir d'Alice au pays des merveilles : telles sont les analogies que propose le rapport.

Pour autant, un principe de réalité conduit à des jugements plus nuancés. Un mathématicien issu de la modélisation analytique concède les succès de l'IA mais pointe le risque d'appauvrissement à ne plus recourir qu'à des méthodes d'IA au détriment de la modélisation analytique – ne serait-ce que parce que la modélisation analytique semble la plus à même de résoudre un problème futur et inconnu. Ce futur inconnu est l'horizon que le mathématicien regarde le plus spontanément. De la même manière, le réseau MSO (modélisation – simulation – optimisation), qui fédère les laboratoires de mathématiques au niveau régional pour orienter réponses aux entreprises, a complété son nom en MSO-DE, pour « in a data-rich environment ».

On peut espérer que ces difficultés, de nature tout à fait scientifiques, s'estompent avec le temps, au rythme des avancées mathématiques. Reste une difficulté plus structurelle : le vœu même, du mathématicien, de continuer, en général, à réaliser une œuvre mathématique exigeante et personnelle.

### **Limite 3 (structurelle ?) :** **L'exigence et la variété des vérités mathématiques**

Une des premières interrogations du rapport concerne les liens entre l'excellence des mathématiques françaises, et leurs difficultés, au plan institutionnel ou culturel, à intégrer les mondes académique et de l'entreprise – par opposition à la situation constatée par de nombreux sondés lors de séjours aux États-Unis. Le rapport souligne les rôles individuels remarquables d'une petite partie de la communauté mathématique, et notamment les pilotes-intercesseurs dont il a déjà été question plus haut. Ces derniers peuvent être vus comme dirigeants d'une PME académique, forcément limitée en capacité. Ces PME académiques conçoivent des solutions sur-mesure, façon mode haute-couture, et chacune fonctionne selon sa propre méthodologie, dispose de son propre réseau, de ses propres financements, etc. Atomisation et dispersion : ces chercheurs très impliqués recréent, au sein de la grande communauté mathématique, leurs petites communautés. De manière intéressante, d'ailleurs, les solutions apportées avec succès par plusieurs

équipes différentes à un même besoin industriel initial seraient différentes : il existe toute une variété de vérités mathématiques.

Par ailleurs, la communauté mathématique capitalise les connaissances, mais plus rarement les outils technologiques profonds, à la différence des GAFAM, qui créent même des environnements, largement diffusés. Une difficulté évoquée tient à la pérennité financière des équipes d'ingénieurs de recherche qui seraient en charge de développer et maintenir ces environnements.

Ces limites, bien entendu, ne sauraient masquer les succès, collectifs et individuels, tirés des collaborations maths-entreprises, mais sont une invitation à la réflexion...

## Et maintenant ?

Ce rapport est un simple diagnostic de la situation existante : l'étape suivante serait que des groupes de travail s'en emparent au sein de la communauté mathématique, notamment pour identifier des pistes, voire émettre des recommandations, pour continuer de fluidifier les collaborations maths-entreprises.



**Note méthodologique** (citée du rapport) : « Le diagnostic s'est appuyé sur des entretiens individuels non directifs, avec des chercheurs des différents domaines académiques et des docteurs en mathématiques travaillant dans différents secteurs d'activité pour les entreprises. Certains interviewés ont été interrogés à plusieurs reprises individuellement, d'autres entretiens ont été menés en petits groupes. Le dispositif a été complété par des observations de situations : séminaires, collaboration, conférences, semaines maths-entreprises, réunions de travail. 92 personnes ont participé à l'enquête. Les entretiens ont été réalisés entre janvier 2018 et mars 2020 et complétés par le recueil de matériaux divers. S'en est suivie une période d'analyse et d'interprétation du matériau. »

## Références

- [1] Géraldine FAVRE. « Dans un monde numérique, le travail mathématique à l'épreuve des collaborations avec les entreprises — vie et métamorphoses ». Le rapport sera téléchargeable courant novembre 2022 sur le site d'AMIES (<https://www.agence-maths-entreprises.fr/>. 2022.



**Gilles STOLTZ**

Gilles STOLTZ est directeur de recherche au CNRS, affecté au Laboratoire de mathématiques d'Orsay. Ses travaux portent sur l'analyse mathématique d'algorithmes de machine learning séquentiel : en bandits à plusieurs bras ou pour l'agrégation d'experts. Il a collaboré sur ces thèmes entre autres avec EDF, Cdiscount, SNCF-Transilien et BNP Paribas. Il a fait partie du bureau d'AMIES de juin 2017 à décembre 2020.

**Email :** [gilles.stoltz@universite-paris-saclay.fr](mailto:gilles.stoltz@universite-paris-saclay.fr)

**Site web :** <https://stoltz.perso.math.cnrs.fr/>