

Document stratégique de recherche de l'École Graduée de Mathématiques

Liminaire

Les mathématiques sont depuis longtemps fortement connectées à la société et à son environnement. L'effort de mise en équation des écoulements fluides et d'analyse mathématique des équations remonte au XVIIIème siècle. Il a porté ses fruits : la simulation numérique se substitue aujourd'hui aux essais en soufflerie pour la conception des avions. De nos jours, les bénéfices apportés par les outils d'aide à la décision basés sur des modèles mathématiques sont indéniables. Depuis de nombreuses années, les modèles épidémiologiques utilisés en santé et en environnement permettent de comprendre l'évolution d'une épidémie comme Ebola ou Covid 19, la diffusion d'une espèce invasive comme les algues vertes ou la bactérie *Xylella* qui peut mettre en danger les cultures d'oliviers ou le vignoble français. Ces modèles permettent également de développer des stratégies de contrôle de l'épidémie. Dans les centres de santé, les outils basés sur des modèles mathématiques sont aujourd'hui quotidiennement utilisés pour aider au dépistage précoce des cancers, proposer une médecine personnalisée et ainsi offrir une meilleure prévention. Les modèles de simulation numérique utilisés notamment par Météo France aident à l'anticipation des événements climatiques extrêmes à différentes échelles et sont depuis longtemps au service des politiques publiques pour suivre le changement climatique. Avec le développement du numérique, de nouveaux besoins ont récemment émergé notamment en cybersécurité. Toutes ces contributions font appel à la fois à des résultats de mathématiques appliquées, ce qui est relativement bien connu, et reposent également, ce qui est moins connu, sur des résultats de mathématiques fondamentales récents ou plus anciens. De plus en plus d'applications nécessitent des contributions en mathématiques, impliquant de fait un accroissement considérable des besoins de compétence dans ce domaine ces dernières années.

Au niveau de l'Université Paris-Saclay, l'École Graduée de Mathématiques (ÉGM) de l'Université, appelée Graduate School of Mathematics en anglais, fédère l'ensemble des activités de recherche et de formation post-master en mathématiques. Elle regroupe des mathématiciennes et des mathématiciens de l'Université Paris-Saclay travaillant sur un large spectre allant des questions fondamentales à des questions plus appliquées, incluant les mathématiques aux interfaces. En 2021, quatorze laboratoires de recherche constituent l'ÉGM ; d'autres laboratoires pourraient rejoindre l'ÉGM dans les années qui viennent, notamment certains travaillant aux interfaces. L'effort de réorganisation des formations en mathématiques débuté en 2014 a par ailleurs conduit à une unique mention de master et une unique école doctorale. La communauté mathématique de l'Université Paris-Saclay jouit aujourd'hui d'une grande reconnaissance aux niveaux national et international.

Objectifs scientifiques

Consciente des énormes besoins sociétaux liés aux contributions en mathématiques, l'ÉGM se mobilise aujourd'hui pour maintenir et développer une recherche d'excellence permettant d'apporter des réponses à ces enjeux. Elle s'appuie pour cela, avec confiance, sur la force et la diversité de la communauté mathématique présente au sein de l'Université Paris-Saclay, regroupant un large spectre de disciplines telles que l'algèbre, la géométrie, l'analyse, l'arithmétique, la topologie, les systèmes dynamiques, les équations aux dérivées partielles, les probabilités, les statistiques. Les recherches menées au sein de l'ÉGM concernent à la fois les mathématiques fondamentales, les mathématiques appliquées et les mathématiques aux interfaces, qui assurent une interdisciplinarité forte avec les autres acteurs de la recherche, en particulier avec les laboratoires de l'Université Paris-Saclay.

Par ailleurs, l'ÉGM s'adapte en permanence avec habileté à l'évolution de notre monde, en particulier en faisant évoluer ses formations pour répondre aux nouveaux besoins de la société et aux nouveaux besoins de recrutement. Elle veille également au maintien et au développement des relations avec les partenaires socio-économiques afin de garantir une bonne compréhension des enjeux opérationnels et des questions scientifiques soulevées. L'ÉGM a aussi pour objectif d'assurer sa bonne visibilité en s'investissant dans des actions concrètes telles que l'expertise, la médiation, la diffusion scientifique à destination du grand public et de publics plus spécialisés.

Défis à relever

Pour répondre aux grands objectifs de recherche et de formation, l'ÉGM doit répondre à plusieurs défis. Elle doit tout d'abord maintenir une excellence scientifique reconnue internationalement, en particulier par le classement de Shanghai, et ainsi conforter sa position d'acteur majeur au sein de l'Université Paris-Saclay.

Cette excellence scientifique repose sur des échanges historiques entre les différents aspects des mathématiques, ayant conduit à des avancées notables. A titre d'exemple, les progrès de la géométrie algébrique dans la seconde moitié du XXème siècle, auxquels l'école de l'IHES et d'Orsay a apporté des contributions majeures, ont permis l'éclosion de la cryptographie moderne fondée sur les courbes elliptiques, sur laquelle repose en particulier l'authentification à l'aide de QR-code et la cryptographie post-quantique, une des thématiques du plan prioritaire de recherche actuel du gouvernement. Un second exemple concerne la théorie des matrices aléatoires apparue en économie théorique au début du XXème siècle, qui s'est fortement développée sous l'impulsion de la physique nucléaire à partir des années 1950. Les mathématiciens s'en sont alors saisis, pour en faire un thème de recherche à part entière, où interviennent les probabilités, mais également les algèbres d'opérateurs, et plus récemment la géométrie algébrique. Les modèles de matrices aléatoires ont trouvé des applications variées, sur divers systèmes impliquant un grand nombre de particules en interaction : physique nucléaire, atomique, physique du solide, finance quantitative, communications sans fil. Depuis les années 1960, les chercheurs du périmètre Paris-Saclay ont joué un rôle

déterminant dans le développement de cette thématique. L'ÉGM se doit donc de garantir cet équilibre entre mathématiques fondamentales, mathématiques appliquées et mathématiques aux interfaces afin d'assurer la possibilité de tels échanges fertiles entre ces différentes disciplines.

Une autre source d'excellence peut naître des fronts interdisciplinaires de recherche faisant émerger des questions scientifiques nouvelles, générant potentiellement des ruptures dans les thématiques de recherche existantes. Ainsi, récemment, l'étude des grands volumes de données a mis en évidence l'intérêt indéniable de l'utilisation de la topologie sur des espaces de formes géométriques permettant des avancées remarquables pour les modèles prédictifs dans des applications telles que la détection de défauts internes dans de grands édifices ou, dans le domaine de la santé, la détection de divers troubles physiques ou psychiatriques. Un front similaire émerge dans le domaine des Sciences Humaines et Sociales. Si l'avènement du machine learning et la disponibilité sans précédent de données ont pu ouvrir de nombreuses voies, il apparaît aujourd'hui une nouvelle frontière : celle de l'hybridation entre des modèles comme ceux qui se rencontrent en physique et des modèles de statistique computationnelle, afin de pouvoir à la fois saisir, décrire et expliquer les propriétés des systèmes complexes. Ce champ est d'autant plus intéressant pour l'ÉGM que les questions et les soubassements théoriques de la modélisation à base d'agents, par exemple, sont propres à stimuler la recherche en mathématique, notamment à l'interface entre probabilités, statistiques et physique théorique. C'est la raison pour laquelle l'ÉGM doit veiller à maintenir et développer une recherche interdisciplinaire vivante et fructueuse en favorisant les échanges entre les laboratoires de différentes disciplines.

Parallèlement, l'ÉGM se doit également de garantir l'adéquation et la pertinence de ses formations initiales et continues. Elle doit aussi maintenir des liens durables avec les partenaires socio-économiques pour permettre le transfert des résultats de recherche en mathématiques et créer de l'innovation, ainsi que leur valorisation rapide auprès des acteurs socio-économiques. L'ÉGM contribue ainsi à conserver sur le territoire national la maîtrise et le savoir-faire allant des fondements de la recherche en mathématiques à l'exploitation concrète des résultats produits.

Forces

Une des forces de l'ÉGM est l'étendue du spectre thématique couvert par ses laboratoires, allant du cœur des mathématiques aux applications, avec des interfaces fortes avec d'autres domaines scientifiques. La richesse de la communauté mathématique réside également dans la diversité des profils qui la composent : enseignants-chercheurs des universités et d'écoles d'ingénieurs, chercheurs de grands organismes de recherche ou de centres techniques. De plus, depuis 1958, l'Institut des Hautes Études Scientifiques (<https://www.ihes.fr/>) fondation reconnue d'utilité publique, accueille, outre un petit nombre de professeurs permanents, de nombreux visiteurs de renommée internationale qui dynamisent fortement la recherche. La possibilité pour de futures recrues ou de jeunes recrues de passer plusieurs mois à l'IHES s'est avérée un outil très efficace pour attirer des personnalités de renom.

Un autre point fort de l'ÉGM est la reconnaissance qui lui est accordée, tant au niveau national qu'international. De nombreux mathématiciens du périmètre ont reçu des distinctions prestigieuses. Depuis 2000, on compte ainsi l'obtention de trois médailles Fields en arithmétique et géométrie algébrique, en probabilités et en algèbre, trois prix Abel en géométrie algébrique, géométrie différentielle et analyse harmonique, et deux prix Wolf en géométrie algébrique et en probabilités.

L'excellence de la communauté mathématique lui a permis d'obtenir ces dernières années des financements nationaux et internationaux conséquents. La Fondation Mathématique Jacques Hadamard (FMJH), fondée en 2010, augmentée en 2012 du Labex Mathématique Hadamard (LMH), déploie une panoplie d'actions visant à renforcer l'attractivité de l'Université Paris-Saclay en direction des étudiants et des jeunes chercheurs internationaux. Ces appels, ciselés pour cerner finement les viviers au plus près du terrain, en tenant compte des usages variés des communautés thématiques, ont un succès certain. La fondation soutient la recherche aux interfaces en finançant des projets et des postdocs. Son programme de mécénat, soutenu par de grands acteurs de l'économie française, fait avancer la recherche sur des questions à fort impact industriel et contribue au rayonnement de l'Université Paris-Saclay.

Les communautés mathématiques de l'Université Paris-Saclay et de l'Institut Polytechnique de Paris, restant unies, partagent le master Mathématiques et Applications devenu la plus vaste formation de master en Mathématiques au monde. La diversité des voies et parcours s'appuie sur les spécificités des laboratoires. La qualité du recrutement d'étudiants, soutenue par les bourses de mobilité internationale de la FMJH, est inégalée, et constitue un facteur d'attractivité en direction des chercheurs. Le brassage des populations d'étudiants est un point remarquable de ce master.

La présence de grandes infrastructures numériques et documentaires sur le site de l'Université Paris-Saclay contribue à la qualité de la recherche en mathématiques. A titre d'exemple, le mésocentre du Moulon (<http://mesocentre.centralesupelec.fr/>) offre des moyens de calcul haute performance et de cloud pour des simulations numériques et le stockage massif de données. La bibliothèque Jacques Hadamard (<https://bibliotheque.math.u-psud.fr/>) est une bibliothèque de recherche en mathématiques au service de la communauté de l'Université Paris-Saclay et plus largement au niveau national. Elle joue un rôle déterminant dans la sensibilisation de la communauté mathématique aux questions de Science Ouverte.

Parallèlement, les mathématiciens ont su renforcer et tisser des liens nouveaux avec des chercheurs des centres de recherche de grandes entreprises présents sur le plateau de Saclay, tirant profit de cette complémentarité en matière d'insertion professionnelle. A titre d'exemple, le mécanisme de Digital Lab, émanation de CentraleSupélec, est bien adapté pour donner aux diplômés en mathématiques le goût et des clés pour exercer dans le secteur privé et permet d'insérer des docteurs en mathématiques en entreprise, en ayant pour objectif une fécondation mutuelle future.

Points d'attention

Les difficultés rencontrées lors des recrutements d'enseignants-chercheurs sont de plus en plus importantes. Les possibilités de débouchés pour les profils recherchés en mathématiques se sont fortement diversifiées ces dernières années, en grande partie du fait de l'explosion d'outils numériques dans un nombre important de domaines. L'Université est désormais en compétition avec de nombreux autres employeurs, que ce soit dans la fonction publique ou dans le secteur privé, en France comme à l'étranger. Simultanément, les conditions de travail des enseignants-chercheurs se sont considérablement dégradées : alourdissement des tâches administratives et d'évaluation, nécessité de plus en plus prégnante d'obtenir des financements sur projet en plus des dotations d'état récurrentes, émiettement des services d'enseignement. Cette dégradation des conditions d'exercice a conduit à la fois à des difficultés de recrutement de nouveaux enseignants-chercheurs et également à des reconversions de personnel en poste vers des emplois plus attractifs, générant de fait une perte de productivité pour l'Université. À terme, il s'agit là d'une réelle menace de baisse des performances.

Il est nécessaire et urgent de revaloriser les emplois d'enseignants-chercheurs. Plusieurs leviers d'action peuvent être mobilisés à différents niveaux. Le soutien administratif pourrait être développé, des outils numériques plus performants pour la gestion des formations pourraient être mis en place. Une attribution systématique d'allègement de service à des moments clé de la carrière (recrutement, promotion, pré-sélection lors de participation à des appels à projet sélectifs comme ceux de l'ANR ou de l'ERC) permettrait aux enseignants-chercheurs de se consacrer davantage à leur activité de recherche. La tâche de mentor pourrait être mieux valorisée.

Dans certaines thématiques où la demande en compétences est forte dans le secteur privé, il est crucial de lier des professionnels à l'Université Paris-Saclay par des contrats pluriannuels assortis d'un titre de professeur. En participant à la formation et à l'activité de recherche à temps très partiel, en accueillant de jeunes stagiaires (parfois, dès la licence), ils apporteraient leur notoriété autant qu'ils profiteraient de celle de l'Université Paris-Saclay. Ces contrats, comme ceux offerts à des chercheurs des organismes de recherche et des post-doctorants contribueraient à rééquilibrer le potentiel d'enseignement.

L'École Graduée de Mathématiques est confiante, des mesures non clivantes peuvent permettre de redorer le blason de nos postes d'enseignants-chercheurs, d'attirer et de conserver les meilleurs esprits et ainsi d'affronter sereinement les défis scientifiques de demain.

Avec l'émergence des techniques d'analyse de données massives et d'apprentissage, la demande d'enseignements et d'expertise en mathématiques, en statistique notamment, provenant des autres disciplines s'est accrue récemment. Actuellement, les mathématiciennes et mathématiciens de l'Université Paris-Saclay ne sont pas assez nombreux pour répondre à cette demande. En effet, le nombre de supports de postes en mathématiques cœur de métier a baissé ces dernières années. Cette érosion ne doit pas se poursuivre. Un risque particulier inhérent à la communauté mathématique est que l'attribution de supports de postes se fasse

au regard de certains critères quantitatifs partiels, qui ne prendraient pas en compte le continuum existant entre le cœur des mathématiques et les applications. L'ÉGM aura à cœur d'être vigilante sur ce point.

Par ailleurs, dans le contexte local du plateau de Saclay, deux structures ont finalement vu le jour en 2020 : l'Université Paris-Saclay d'une part, l'Institut Polytechnique de Paris d'autre part. Les communautés mathématiques de ces deux structures se connaissent bien depuis longtemps et travaillent en harmonie, en particulier au sein de la Fondation Mathématique Jacques Hadamard. Cependant, les modes de fonctionnement différenciés de IP Paris et de l'UPS sont susceptibles de mettre à mal cette harmonie. Il s'agit là d'un autre point de vigilance pour la communauté mathématique, et sans doute aussi dans d'autres disciplines.

Une stratégie de recherche interdisciplinaire tournée vers l'avenir

Consciente de l'apport des mathématiques dans les projets interdisciplinaires, l'École Graduée de Mathématiques entretient des relations étroites avec les graduate schools voisines. Plusieurs laboratoires ont un double rattachement, avec les graduate schools *Biosphera, Éducation, Formation, Enseignement, Informatique et Sciences du Numérique, Life Sciences and Health, Physique, Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes*, et partagent donc les ressources de l'ÉGM. L'ÉGM joue un rôle important au sein de l'Institut de Convergence *DataIA*. Elle est prête à contribuer aux Objets Interdisciplinaires (OI) de l'Université Paris-Saclay, ainsi qu'aux grands projets de recherche et de développement initiés au niveau national et international. Au niveau local, l'ÉGM est d'ores et déjà impliquée dans plusieurs OI, par exemple l'OI *LivingMachines@Work* dont l'objectif est de comprendre les mécanismes moléculaires fondamentaux du Vivant pour innover dans les domaines de la Santé et des Biotechnologies, et l'OI *h-CODE* dédié à la modélisation (déterministe en général) et de contrôle au service de l'activité humaine, à travers les neurosciences, l'apprentissage chez les humains, la robotique humanoïde, les systèmes autonomes et l'économie comportementale.

Au niveau national, depuis juin 2021, l'ÉGM contribue à la mise en place de travaux de recherche au sein du *cluster en oncologie centrée sur le patient* porté par Sanofi, Gustave Roussy, l'Inserm, l'Institut Polytechnique de Paris et l'Université Paris-Saclay. Par ailleurs, répondant à la stratégie nationale sur le quantique, le projet Paris-Saclay *Quantum* mobilise des chercheurs en mathématiques et en physique théorique de l'Institut de Physique Théorique et de l'IHES. Concernant le Plan de Relance pour l'Enseignement Supérieur et la Recherche, l'ÉGM s'intéresse aux actions auxquelles ses labos et équipes contribuent, comme le Programme et équipement prioritaire de recherche exploratoire (PEPR) *Agroécologie et numérique*. Elle est en lien étroit avec le CNRS pour faire émerger le PEPR intitulé *Mathématiques pour le vivant, l'environnement, la société (Maths-Vives)*.

Au niveau international, l'ÉGM mise sur la mobilité des jeunes chercheurs, vecteurs de la circulation des idées. Les programmes *Vivaldi* et *Visibilité Scientifique Junior* de la FMJH permettent aux doctorants d'élargir leur réseau vers l'international. Le programme cofund

postdoctoral, commun avec la Fondation Sciences Mathématiques de Paris, est un investissement à long terme. Il a pour but de créer un lien entre l'Île de France et un grand nombre de mathématiciennes et mathématiciens qui souhaiteront ultérieurement y revenir et y envoyer leurs élèves.

Conclusion

L'ÉGM est animée d'un esprit de partage. Elle ne négligera aucun moyen pour contribuer aux échanges intellectuels qui font la valeur irremplaçable de notre grande université de recherche. Toutefois, pour conserver sa position d'excellence aujourd'hui reconnue sur le plan national et international, l'ÉGM devra être fortement soutenue par l'Université Paris-Saclay à plusieurs niveaux :

- pour assurer le renouvellement et la création de supports de postes, à la fois en mathématiques fondamentales, appliquées et aux interfaces ;
- pour renforcer l'attractivité des emplois par des mesures d'allègement des tâches, le recrutement de personnels de soutien, l'amélioration des outils numériques, tout en revalorisant les carrières des personnels ;
- pour enrichir les formations en y impliquant des postdoctorants, des chercheurs et des professionnels du monde socio-économique dans les thématiques où cela est nécessaire ;
- enfin, pour permettre le fonctionnement collectif harmonieux de la communauté mathématique d'un périmètre qui dépasse celui de l'Université Paris-Saclay.

