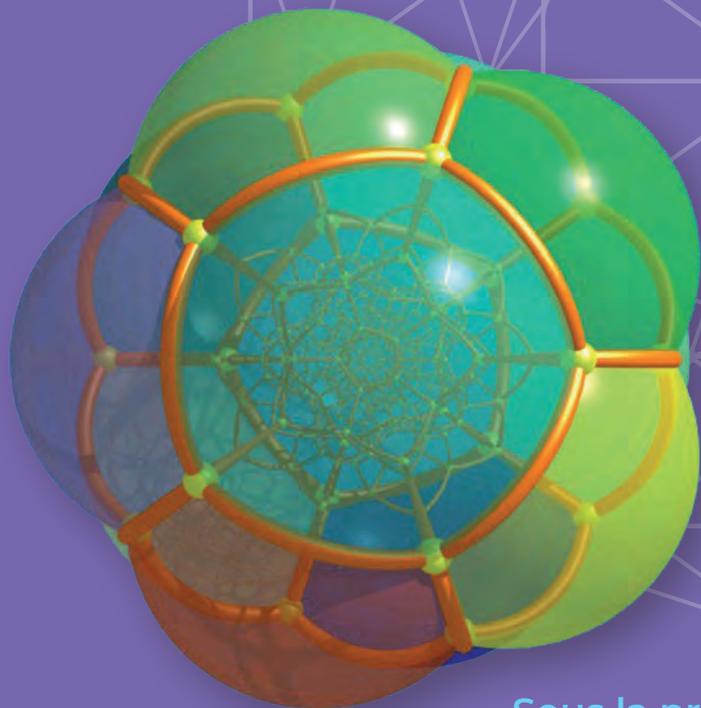


SYNTHÈSE NATIONALE ET DE PROSPECTIVE SUR LES MATHÉMATIQUES



Par le comité de synthèse,
Sous la présidence et la vice-présidence
de Marc Peigné et Grégoire Allaire

Novembre 2022

SYNTHÈSE
NATIONALE
ET DE PROSPECTIVE
SUR LES
MATHÉMATIQUES

RAPPORT PRINCIPAL

PRÉAMBULE	6
RÉSUMÉ ANALYTIQUE	8
CHAPITRE 1	
UNE ESQUISSE DES MATHÉMATIQUES D'HIER À AUJOURD'HUI	10
1.1 Mise en perspective historique à l'issue du XX ^e siècle	11
1.2 Regards croisés sur les mathématiques modernes	13
1.3 Les mathématiques en interaction avec le monde économique	21
1.4 Médiation scientifique et interactions art et science	23
CHAPITRE 2	
UN INSTANTANÉ DE LA COMMUNAUTÉ MATHÉMATIQUE FRANÇAISE	26
2.1 Un fonctionnement en réseaux structurés	27
2.2 Un pilotage précis	30
2.3 Bonnes pratiques et outils efficaces	32
2.4 Un impact économique majeur	35
2.5 Une communauté à l'écoute des enjeux sociétaux	36
2.6 Une production dans le top 5 mondial	39
2.7 Une recherche reconnue dans un environnement international concurrentiel	41
CHAPITRE 3	
UN DIAGNOSTIC ET 21 RECOMMANDATIONS	44
3.1 Des défis géographiques internationaux et nationaux	45
3.2 Les outils fragiles de la recherche en mathématiques	49
3.3 Inflation des missions vs baisse du nombre de postes	51
3.4 L'aube de la structuration mathématiques-entreprises en France	56
3.5 Faire bouger les lignes sur le doctorat et au-delà	59
3.6 Une communauté qui doit continuer à s'ouvrir	64
3.7 L'enseignement des mathématiques dans le premier et le second degré	67
3.8 Un déséquilibre femmes-hommes qui perdure	69
CONCLUSION	75
Une structuration forte et une excellence scientifique, mais un diagnostic contrasté	76
Le choix entre ambitions et déclassement	76
Un « programme pour les mathématiques à horizon 2030 »	79
ANNEXES	81
A Lettre de mission du Président du Hcéres	82
B Comité d'experts rédacteurs de ce rapport	83
C Liste des échanges et entretiens institutionnels	84
D Données Hcéres des autoévaluations des laboratoires vagues A2011 à C2023	84
E Liste des 73 laboratoires de recherche académique du corpus Hcéres	91
F Listes des structures du réseau de la recherche mathématique	95

PRÉAMBULE

Illustrées par une nouvelle médaille Fields française lors du dernier congrès mondial des mathématiciens en 2022 et une place de choix dans les classements internationaux, les mathématiques françaises sont une discipline d'excellence dans le paysage scientifique français. C'est dans ce contexte que le président du Hcéres¹ a proposé en 2019 un rapport de synthèse nationale et de prospective sur les mathématiques (SNM).

Entre autres **lieux communs**, beaucoup de nos concitoyens imaginent les mathématiques comme une science austère coupée des réalités du monde et réservée à une poignée de surdoués enfermés dans des calculs aussi inutiles qu'impénétrables. Pourtant, loin de cette image d'Épinal, les mathématiques sont une **discipline connectée aux autres sciences, à la société, à l'innovation et à la dynamique économique**, oxygène discret mais indispensable à la compréhension du monde, au progrès social et économique avec, en 2019², une contribution chiffrée à 17,6 % du produit intérieur brut français.

Comme proclamé lors de la 1^{re} Journée internationale des mathématiques en 2020 sous l'égide de l'Unesco³, et comme l'ont constaté les rédactrices et les rédacteurs⁴ de ce rapport, les mathématiques sont tout à la fois **partout et essentielles**. Elles sont partout en sciences et technologies, depuis le décodage du génome humain jusqu'aux algorithmes des moteurs de recherche, en passant par les systèmes cryptographiques de protection des données. Elles sont également partout dans l'organisation de la société, depuis l'optimisation des réseaux de transport, jusqu'à la gestion des épidémies et les sondages électoraux. Elles sont essentielles pour atteindre les objectifs de développement durable des Nations Unies, par exemple : modéliser les changements globaux et comprendre leurs conséquences sur la biodiversité, compter, analyser, optimiser et prévoir les ressources de la planète. Elles sont enfin essentielles pour éduquer, intégrer et donner aux citoyennes et aux citoyens des clés pour comprendre le monde.

Ce rapport s'adresse à une **audience large**, bien au-delà des mathématiciennes et des mathématiciens, allant des divers responsables

de la société civile, de l'économie, de l'industrie et des services, en passant par les acteurs des autres sciences, jusqu'aux responsables de structures académiques et aux décideurs politiques. En ce sens, il ne se substitue pas aux rapports conjoncturels d'organismes et propose des éléments disciplinaires et synthétiques parfois déjà bien connus des mathématiciennes et des mathématiciens eux-mêmes, mêmes si certaines données sont inédites.

Ce rapport ne prétend pas être exhaustif. Il est constitué en premier lieu du présent rapport principal (Vol. 1 SNM), rédigé par le comité et contenant un résumé analytique, trois parties et une conclusion. Le rapport principal constitue le cœur de l'analyse du comité. Il est complété par deux autres volumes qu'il a semblé pertinent d'isoler mais qui sont à considérer comme part entière de l'analyse : d'une part, une analyse disciplinaire et des interactions scientifiques (Vol. 2 SNM ADIS), à contenu scientifique, également rédigée par le comité et, d'autre part, un dernier volume (Vol. 3 SNM OST) rédigé par l'Observatoire des sciences et techniques du Hcéres sur la caractérisation des publications en mathématiques en France et dans le Monde, qui fournit une vision bibliométrique.

L'analyse disciplinaire et des interactions (Vol. 2 SNM ADIS) est un travail de fond sur chaque thématique des mathématiques et de leurs interactions. L'analyse du comité offre un panorama disciplinaire précis mais concis à destination des scientifiques, mathématiciens ou non.

Volume 2 du *Rapport de synthèse Hcéres sur les mathématiques – Analyse Disciplinaire et des Interactions* (Sera publié sur www.hceres.fr/SNM-2022-vol-2).

La **caractérisation des publications en mathématiques en France et dans le Monde** (Vol. 3 SNM OST), issue du travail de l'**Observatoire des sciences et techniques** (OST), constitue un document indépendant, qui a permis d'étayer l'analyse du comité proposée dans le rapport principal. Cette caractérisation bibliométrique a été le fruit d'un travail remarquable de la part de l'OST, qui a pris en compte les demandes du comité dont, par exemple, l'intégration dans sa base (issue de Web of Science) des revues portées par le Centre Mersenne et son recoupement avec la base Zentralblatt. Si l'analyse de la discipline mathématique, dans un document tel que ce

1. La lettre de mission est en annexe A de ce rapport.
2. Les assises des mathématiques, *étude de l'impact économique des Mathématiques en France*, 2022.
3. <https://www.iybssd2022.org/fr/les-mathematiques-sont-partout/>
4. La liste des experts rédacteurs est en annexe B de ce rapport.

rapport de synthèse nationale, ne saurait se réduire à des données bibliométriques⁵, le travail de l'OST a néanmoins été précieux pour nourrir, illustrer et chiffrer l'argumentation du rapport principal. La méthodologie propre à l'OST est décrite dans le volume 3.

Volume 3 du Rapport de synthèse sur les mathématiques - Caractérisation des Publications en Mathématiques en France et dans le Monde 2013-2020, Hcéres - Observatoire des sciences et techniques (Sera publié sur www.hceres.fr/SNM-2022-vol-3).

Le présent rapport est le fruit de deux ans de travail du comité. La **méthodologie** a été la suivante : le comité a travaillé sur les évaluations et les autoévaluations des laboratoires évalués par le Hcéres entre les vagues 2011 à 2022. Un **corpus Hcéres de laboratoires**⁶ pour lesquels les données étaient pertinentes et disponibles a été identifié, même s'il ne recoupe pas exactement l'ensemble des mathématiciennes et des mathématiciens. Le comité a également utilisé un certain nombre de documents et de rapports publiés ces dix dernières années. En particulier, les deux versions (2015 et 2022) de l'étude de l'impact économique des mathématiques en France⁷ ont été utilisées pour mieux situer les interactions avec le monde socio-économique. Enfin, le comité a pu mener de nombreux entretiens avec des personnalités scientifiques, des responsables institutionnels et des membres de la société civile ou économique. La liste des entretiens institutionnels est fournie en annexe C.

Ce rapport arrive en appui des **Assises des Mathématiques** qui auront lieu en novembre 2022, même si la réflexion a été menée de

5. Le Hcéres a signé le manifeste de Leiden sur les réserves liées à l'utilisation de la bibliométrie, ainsi que la déclaration de San Francisco (DORA). Cf. <https://scienceouverte.couperin.org/manifeste-de-leiden/> et https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9claration_de_San-Francisco.

6. cf. Annexes D et E de ce document pour la liste des laboratoires du corpus, hors corpus et des éléments de méthodologie.

7. *Ibidem*.

manière indépendante car l'initiative d'une synthèse nationale en mathématiques a été mûrie depuis 2019. Il a vocation à nourrir les réflexions des Assises, par un panorama, une mise en perspective objective et une analyse chiffrée, argumentée et indépendante, basée sur douze ans d'évaluation des laboratoires par le Hcéres.

Le comité a émis, dans la section consacrée à l'analyse, un certain nombre de **recommandations** à l'ensemble des acteurs et des interlocuteurs des mathématiques. Au regard de cette analyse, il s'est permis aussi de proposer une stratégie aux divers décideurs, institutionnels, industriels et politiques. Afin de répondre à l'ensemble des enjeux scientifiques, sociétaux et économiques qui s'imposent à la recherche en mathématiques et identifiés lors de l'analyse, il est apparu pertinent au comité de suggérer un **« programme 2030 pour les Mathématiques »**. Il s'agit d'une proposition assumée par le comité, dont il espère que les Assises des Mathématiques sauront se saisir.

Le comité et les conseillers scientifiques en charge souhaitent adresser leurs plus vifs **remerciements** aux différents interlocuteurs avec lesquels ils ont pu interagir : d'une part, les personnalités scientifiques qui ont répondu avec acuité aux questions disciplinaires⁸ et, d'autre part, les interlocuteurs institutionnels et ceux issus de la société civile ou économique. Le comité remercie en particulier la direction de l'Insmi pour la mise à disposition du document sur l'impact économique des mathématiques en France, réalisé dans le cadre des Assises des Mathématiques. Le comité remercie enfin l'ensemble des personnels du Hcéres (directions du Département d'évaluation de la recherche et de l'Observatoire des sciences et techniques, conseillers scientifiques, autres personnels en particulier Mme Émilie Bucur et M. Wilfriedo Mescheba) pour le soutien logistique, méthodologique ou statistique ayant permis la publication de ce rapport. ●

8. Plus de 200 entretiens individuels avec des personnalités scientifiques ont été menés pour cette étude.

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Le premier chapitre de ce document est une esquisse d'analyse disciplinaire. La France est connue pour avoir une forte tradition mathématique. Une mise en perspective historique à l'issue du XX^e siècle est proposée en section 1.1. Au travers d'exemples, la section 1.2 porte un regard croisé sur les multiples facettes d'une science mathématique vivante, en progression rapide, universelle, apportant son savoir et son langage à la formulation des lois du monde⁹. En effet, son influence est majeure sur la compréhension de l'aléa, la cryptographie, les sciences de la vie, la robotique, l'informatique théorique et l'intelligence artificielle, mais aussi la santé, la planète ou l'environnement. Trois illustrations de l'intrication profonde des mathématiques avec le monde économique sont proposées en section 1.3 : l'aéronautique, le formidable essor des start-up et, la production et la distribution de l'électricité. Enfin, des exemples d'actions de médiation, au coeur des relations du monde des mathématiques avec la société, sont présentés en section 1.4.

Le deuxième chapitre propose un panorama des modes d'organisation de la communauté mathématique française et de son rayonnement, à la manière d'une photographie instantanée prise en 2022. Avec environ 4 000 membres permanents, 3 000 personnels non permanents dont 1 800 doctorants, et plus de 600 personnels d'appui permanents et non permanents, son réseau structuré (thématique, géographique et de support), présenté en section 2.1, est une de ses forces. La synergie entre écoles, organismes et établissements universitaires, coordonnée et animée par l'Insmi¹⁰ du CNRS et accompagnée par les sociétés savantes et autres instances, est présentée en section 2.2. Cet esprit de communauté permet aux mathématiciennes et aux mathématiciens d'adopter collectivement des pratiques vertueuses et mutualisées, dans le domaine de l'édition, du dialogue avec la société ou de la documentation, et leur a permis de construire des outils efficaces, dont trois centres de conférences présentés en section 2.3. Deux rapports de 2015 et 2022 ont mis en évidence l'impact majeur, estimé à 17,6 % du produit intérieur brut en 2019, des mathématiques dans l'économie. La section 2.4 décrit les outils mis en place pour favoriser et développer les interactions avec le monde économique. La communauté mathématique est également à

l'écoute des sujets d'actualité : la section 2.5 décrit son investissement dans la formation, initiale et continue, et les outils qu'elle a construits face aux grands enjeux nationaux, internationaux ou de communication et d'échanges avec la société. La production scientifique, avec l'appui des données bibliométriques du volume 3 rédigé par l'OST et celui des données chiffrées issues des évaluations des laboratoires par le Hcéres, est présentée en section 2.6. Avec plus de 67 000 articles, ces analyses placent la France au 5^e rang mondial en quantité avec près de 7 % de la production. En section 2.7 sont rappelés les indices de reconnaissance internationaux, en particulier les treize médailles Fields françaises, dont la dernière a été décernée à l'été 2022, et la place des mathématiques françaises dans les classements dits « de Shanghai ». Le rayonnement de la France, qui se place en 2^e position derrière les États-Unis en termes de nombre de médailles et héberge le premier laboratoire au monde à Paris-Saclay selon le classement de Shanghai, est indéniable.

Le troisième chapitre propose une analyse argumentée et chiffrée des grands enjeux de la recherche française en mathématiques et des problèmes qu'elle rencontre. Il ne s'agit plus de présenter une image instantanée, mais plutôt un film décrivant une évolution récente et inquiétante qui révèle des fragilités, des menaces mais aussi des possibilités. Le comité a tenté d'y répondre par 21 recommandations, adressées à l'ensemble des acteurs, les mathématiciennes et les mathématiciens eux-mêmes ainsi qu'à l'État, aux établissements et organismes et aux acteurs économiques. Le premier constat, présenté en section 3.1, est la montée vertigineuse de plusieurs pays, dont la Chine (+33 % de publications en cinq ans) ou l'Inde, dans le concert des nations publiantes. Les disparités géographiques sont également visibles en France, avec un poids fort de Paris et des grands centres. Une forme d'équilibre au niveau de la qualité a été atteinte entre l'Île-de-France et l'ensemble des autres régions, mais elle est fragilisée par la fin programmée de plusieurs structures régionales, de type labex¹¹, en 2024. La section 3.2 met en évidence la fragilité structurelle, financière ou le sous-dimensionnement de certains outils nationaux mis en place par la communauté mathématique. La baisse importante du nombre de personnels enseignants-chercheurs à l'université est une source d'inquiétude présentée en section 3.3, d'autant qu'elle s'accompagne d'une augmentation forte des missions, liée

9. Henri Poincaré, La Valeur de la Science, Paris, 1908.

10. Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions.

11. Laboratoire d'excellence.

en particulier à la recherche sur contrat et aux charges d'enseignement face à des étudiants de plus en plus nombreux (+28 % entre 2008 et 2018). Cette baisse s'accompagne d'un sentiment de plafond de verre pour toute une catégorie de personnels en attente de promotion. Cette conjonction de difficultés se traduit en particulier par des données de production ou d'activité en baisse ou en stagnation.

En section 3.4 du chapitre 3 est présenté un des grands défis auquel doit faire face la communauté mathématique dans les années à venir : celui de répondre à un besoin considérable de mathématiciennes et de mathématiciens dans les entreprises et la société. Le constat est que l'agence de soutien AMIES¹² est sous-dimensionnée et que les relations entre monde académique et monde économique, bien que faisant l'objet d'efforts considérables, sont encore bridées et ténues. Le changement, en cours, d'état d'esprit de la communauté mathématique en France et à l'étranger ouvre de formidables possibilités si ces actions sont accompagnées d'un soutien financier. Parmi les leviers possibles, la section 3.5 dresse un bilan mitigé du début de carrière (c'est-à-dire doctorat et post-doctorat). La France ne forme pas assez de docteurs en mathématiques pour répondre aux besoins de la société, de l'économie ou de l'État, et les forme encore de manière très académique voire déconnectée du monde réel, même si des initiatives prometteuses ont pu être menées. L'évolution de la pratique de la recherche en mathématiques et les alarmes

12. Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société.

qu'elle déclenche sont développées en section 3.6. L'investissement des mathématiciens et des mathématiciennes dans les activités en lien avec la société et l'économie n'est pas encore assez reconnu par leur propre communauté. Le problème de l'évolution des missions des personnels de soutien, tels que les bibliothécaires, les informaticiens ou les gestionnaires se pose également, dans un contexte de baisse drastique du nombre de postes à l'université et de la très forte numérisation de leur travail. Le problème de la baisse du niveau des élèves dans l'enseignement primaire et secondaire est abordé en section 3.7. Même s'il n'est pas directement lié à la recherche mathématique, il s'agit d'une question au cœur de la discipline, que les mathématiciennes et les mathématiciens ont vocation à se réapproprier. La section 3.8 présente le problème endémique de la parité de genre au sein de la communauté mathématique française ainsi que les mesures prises ou les occasions à saisir pour répondre à la faible représentation des femmes dans la recherche en mathématiques.

En conclusion de ce rapport, au regard des ambitions que la France peut se donner et du risque de déclassement qui la menace, une stratégie est proposée sous la forme d'une ultime recommandation : celle d'envisager un « programme national pour les mathématiques à l'horizon 2030 ». Ce programme, à visée générale, porterait en particulier sur les jeunes (en doctorat et en post-doctorat) et sur leur plus forte et meilleure intégration dans le monde socio-économique, ainsi que sur la préservation voire la montée en puissance des grands outils au service des mathématiques françaises. ●



CHAPITRE 1

UNE ESQUISSE DES MATHÉMATIQUES D'HIER À AUJOURD'HUI

1.1 MISE EN PERSPECTIVE HISTORIQUE À L'ISSUE DU XX^E SIÈCLE

Pour dépeindre les mathématiques d'aujourd'hui en France, il est bon de se tourner vers le siècle passé et de se rappeler comment elles s'y sont développées et organisées. Plaçons ce court éclairage historique sous la figure tutélaire d'Henri Poincaré (1854 - 1912), mathématicien majeur, mais également cosmologue, physicien et penseur. Henri Poincaré est le dernier mathématicien à pouvoir prétendre à une telle universalité et son héritage est encore présent. Depuis, ces différents métiers se sont séparés; la complexité croissante du travail expérimental et des théories scientifiques explique sans doute la spécialisation qui a eu lieu durant le XX^e siècle.

1.1.1 AU DÉBUT DU XX^E SIÈCLE, LES PRÉMICES DES MATHÉMATIQUES MODERNES

La première moitié du XX^e siècle voit apparaître des figures majeures tel Élie Cartan (1869-1951) qui est, après Poincaré, un pionnier de la géométrie en France. En correspondance régulière avec Albert Einstein, il lui donne les outils pour sa théorie de la relativité générale. Ses cadets Émile Borel (1871-1956) puis Henri Lebesgue (1875-1941) ont marqué l'analyse moderne avec toutes ses conséquences sur la théorie du signal et sur les probabilités. Dans la même période, Louis Bachelier (1870-1946), sans doute pionnier des études sur les modèles de marches aléatoires, reste incompris avec sa théorie de la spéculation (thèse 1900) qui pose pourtant les bases des mathématiques financières. Trente ans plus tard, le célèbre dynamicien et probabiliste soviétique Andreï Kolmogorov (1903-1982) reconnaîtra la profondeur des travaux de Bachelier¹³.



Figure 1
Henri Poincaré.

Photographie de Eugène Pirou, 1887

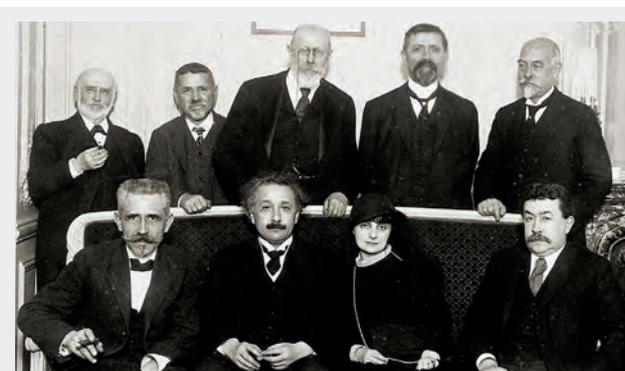


Figure 2

Photographie prise à l'occasion d'un repas chez les Borel en l'honneur d'Albert Einstein (Paris, 1922). On reconnaît au fond, Paul Appell, doyen de la faculté de Paris, le troisième en partant de la gauche, à sa gauche, Émile Borel; au premier rang, de gauche à droite, le physicien Paul Langevin, Albert Einstein, la poétesse Anna de Noailles et le mathématicien et homme politique Paul Painlevé.

La génération qui suit ces grands mathématiciens est marquée par la Grande Guerre et les ravages considérables qu'elle occasionne parmi les jeunes mathématiciens¹⁴. Parmi les normaliens mathématiciens engagés, 20 % ne reviennent pas du front. Dès le lendemain de la guerre, Borel déploie toute son énergie à recréer une communauté mathématique française. Il est aidé par le mathématicien américain George Birkhoff. Ensemble, ils susciteront un mécénat qui aboutira à la construction de l'Institut Henri Poincaré (IHP), inauguré en 1928 sur le campus Curie à Paris, dont la vocation sera d'être un centre d'échanges internationaux en mathématiques et physique théorique¹⁵. L'IHP, dirigé par Borel jusqu'à la Seconde Guerre mondiale verra le passage d'invités prestigieux (Einstein, Volterra, etc.) et des interactions fécondes entre mathématiques et physique sous l'impulsion notamment des deux prix Nobel de physique (1929, 1926) Louis de Broglie et Jean Perrin. En 1935, un groupe de jeunes mathématiciens se réunit en Auvergne à l'initiative d'André Weil, frère de la philosophe Simone Weil, dans l'idée d'écrire un cours d'analyse aux bases solides, travail qu'ils mèneront sous le pseudonyme Nicolas Bourbaki.

14. D. Aubin, *L'élite sous la mitraille*, Ed. Rue d'Ulm, 2018.
15. <http://www.ihp.fr/fr/presentation/histoire>.

13. <https://images.math.cnrs.fr/pdf2006/Crepel.pdf>.

Rêve de normalien, le projet ne pouvait qu'être sans fin. Malgré toutes les critiques faites au projet, l'influence de Bourbaki, à travers ses livres et ses séminaires, a été considérable. Elle a été le germe d'une refondation des mathématiques qui prendra son plein essor après la Seconde Guerre mondiale.

C'est également entre les deux guerres mondiales que s'opère en France l'ouverture des mathématiques aux probabilités et aux statistiques, portée tout d'abord par Émile Borel et l'IHP où une chaire de professeur est consacrée aux probabilités, puis relayée avec force par Paul Lévy (1886-1971) qui sera un des pères fondateurs de la théorie des processus stochastiques. On doit à Borel la vision du rôle que peuvent et doivent jouer les mathématiques auprès des sciences sociales, l'installation des statistiques parmi les mathématiques et la création de l'Institut de statistiques de l'université de Paris (ISUP)¹⁶.

1.1.2 AU CŒUR DU XX^E SIÈCLE, LA STRUCTURATION DE LA RECHERCHE NATIONALE

Le XX^e siècle voit la recherche française s'organiser, trouvant dans le « sou du laboratoire »¹⁷ obtenu par Borel en 1925, la première source de financement public de la recherche en France. Ce travail de structuration, porté notamment par Jean Perrin et Jean Zay, verra la création du CNRS à la fin des années trente¹⁸. Son soutien aux mathématiques est d'abord très modeste puisqu'il n'y aura pas de laboratoire de mathématiques proprement dit avant les années soixante; le premier laboratoire associé au CNRS est l'IRMA¹⁹ de Strasbourg en 1966. Le rôle du CNRS auprès des mathématiques s'est ensuite amplifié en contribuant notamment à la structuration de la communauté, ce qui reste une de ses forces aujourd'hui²⁰.

Dans l'effervescence de l'après Seconde Guerre mondiale, les fameuses « trente glorieuses », de nombreux nouveaux organismes et instituts de recherche sont créés. En octobre 1945, après avis du Conseil d'État, Charles de Gaulle signe

16. L'ISUP a véritablement pris son essor après la Seconde Guerre mondiale, inspirant la création d'autres lieux d'approfondissement de la statistique, au premier rang desquels l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques) et l'Ensaie (École nationale de la statistique et de l'action économique).

17. Voir par exemple <https://80ans.cnrs.fr/anecdote/un-sou-est-un-sou/>, ainsi qu'*Histoire du CNRS de 1939 à nos jours*, Denis Guthleben, Armand Colin, 2013, dans lequel il est rappelé l'existence, dès 1901, de la Caisse des recherches scientifiques (CRS), premier dispositif national d'aide à la recherche en France, mais dont la « création est loin de s'inscrire dans une vision structurée » du développement de ces recherches.

18. <https://histoire.cnrs.fr>.

19. Institut de recherche mathématique avancée.

20. Cette structuration solide sera présentée en section 2.1 de ce document.



Figure 3

Sous le gouvernement Blum, la Caisse nationale de la recherche scientifique (qui devint le CNRS en 1939), créée en 1935, vit ses moyens considérablement augmentés par Jean Zay. On le voit ici en compagnie d'Irène Joliot Curie qui occupa à ses côtés la fonction de Sous-secrétaire d'État à la Recherche scientifique qu'il avait créée. (<https://www.lesamisdejeanzay.fr/>)

l'ordonnance portant création du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) incluant des équipes de mathématiciens. Dans le cadre du « Plan Calcul », l'Institut de recherche en informatique et automatique (Iria) est créé à Rocquencourt en 1967. Jacques-Louis Lions y fait entrer le calcul scientifique²¹, et obtient la transformation du sigle en Inria, le N de « national » renvoyant à l'ouverture d'autres centres géographiques sur les mêmes sujets à Sophia-Antipolis, Rennes et Grenoble. L'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) est créé en 1964 et de plus en plus de mathématiques y sont convoquées: d'abord la statistique par l'épidémiologie, puis le traitement mathématique des images par l'imagerie médicale, la modélisation par le vaste domaine de la physiologie.

1.1.3 APRÈS LA SECONDE GUERRE MONDIALE, UNE RECHERCHE FOISSONNANTE ET INTERCONNECTÉE

Pour conclure ce panorama, Il faut évoquer l'extraordinaire explosion que connaissent des domaines de recherche parfois restés discrets jusque-là en France. La deuxième section de ce chapitre permettra d'en donner plusieurs exemples. Cette explosion et cette diversification thématique se sont nourries de convergences fécondes entre les différents domaines. Rapprochement entre l'analyse des équations aux dérivées partielles (EDP) et la topologie algébrique pour le théorème de l'indice d'Atiyah-Singer dans les années 60, entre EDP et probabilités autour des équations différentielles stochastiques depuis les années 90,

21. Voir par exemple <https://www.inria.fr/en/node/757>.

arithmétique et systèmes dynamiques sur des questions de stabilité d'équilibre, sans oublier tous les aspects de dynamique discrète jusque dans le calcul scientifique. Nombreuses sont les questions dont la résolution a mobilisé des domaines a priori distincts. C'est cette agilité de la pensée mathématique et cette capacité de dialogue entre domaines qui permettront de résoudre les grandes questions du XXI^e siècle, tout en s'appuyant sur un savoir théorique fort. Comme la suite du rapport le montrera, la composante numérique du monde d'aujourd'hui, transverse à tous les domaines, fédère et transforme les mathématiques, des fondements aux interactions, apportant de nouvelles questions et renouvelant l'étude de sujets plus anciens.

1.2 REGARDS CROISÉS SUR LES MATHÉMATIQUES MODERNES

Il serait peu sage et peu pertinent de décrire par le menu dans ce rapport, l'état des lieux des mathématiques en France. Peu sage car la largeur du spectre des mathématiques dépasse très largement la taille raisonnable que doit avoir ce rapport. Peu pertinent car une liste à la Prévert de termes et de concepts abscons, hormis pour une petite partie de la communauté mathématique, n'éclaire en rien la diversité et la profondeur des apports des mathématiques dont il a été question en première section de ce chapitre.

Le comité a donc préféré illustrer à travers quelques exemples certains des aspects marquants des principes ou des pratiques des mathématiques. Dans chaque cas choisi, l'école française a joué (mais parfois ne joue plus) ou joue aujourd'hui un rôle majeur. Cette section de « regards croisés » vient en complément du Volume 2 (Vol. 2 SNM ADIS, analyse disciplinaire et des interactions) qui présente une analyse plus disciplinaire, complémentaire de la présentation proposée ci-dessous.

1.2.1 LES MATHÉMATIQUES AIDENT À LA COMPRÉHENSION DES PRINCIPES DE L'UNIVERS

C'est sans doute dans ce rôle que les mathématiques sont les plus connues, dans cette fonction de langage commun aux autres sciences. Partons ici de deux observations physiques : 1 - un aimant chauffé à très haute température perd ses propriétés magnétiques, 2 - les masques à gaz des soldats (ou les masques FFP2) deviennent inefficaces dans certaines conditions. Le premier

fait a été mis en évidence par Pierre Curie au XIX^e siècle. Cette température critique est désormais appelée température de Curie. Le second fait a été étudié par John Hammersley dans les années cinquante. Le lien entre ces deux observations réside dans les mathématiques de l'aléatoire.

Le premier problème a donné lieu à l'invention par Wilhelm Lenz (1920) du tout premier modèle de physique statistique, qui a pris le nom de son élève Ernst Ising après que celui-ci eut obtenu les premiers résultats rigoureux lorsque l'espace est de dimension 1. Le second problème a donné lieu à l'invention de la théorie de la percolation dont le nom est inspiré de la percolation du café mise au point par l'archevêque de Belloy vers 1800. Apparemment les modèles mathématiques initiaux n'ont rien à voir. Ils ont encore moins à voir avec la théorie quantique de Liouville²² née dans les années 80, modèle jouet de la gravitation quantique, tentative d'uniformisation entre relativité d'Einstein et physique quantique. Pourtant, bien que reposant sur des modèles a priori très différents, ces trois domaines se rencontrent intimement.

Le modèle d'Ising décrit un aimant comme une collection organisée (un graphe) d'aimants microscopiques (sommets) connectés à leurs voisins (qui dépendent de la géométrie du graphe). Chaque aimant microscopique a une charge + ou une charge -, la répartition de ces charges étant décrite par une probabilité (mesure de Gibbs) dont les deux paramètres principaux sont l'énergie et la température. Les propriétés magnétiques de l'aimant sont décrites par plusieurs quantités dont la plus simple (magnétisation) est le nombre de + moins le nombre de -. Lorsque cette magnétisation est nulle l'aimant n'a plus aucune propriété magnétique. Pour comprendre l'apparition de la température critique de Curie on regarde le comportement de la magnétisation (ou de sa moyenne) lorsque le nombre de sommets tend vers l'infini (ce qui est une extrapolation naturelle car, dans la pratique, le nombre de micro-aimants est gigantesque).

Le modèle simple de percolation consiste à considérer un graphe dont les arêtes sont fermées (on peut passer d'un sommet à l'autre) ou ouvertes (on ne peut pas). Pour décrire les milieux très hétérogènes (les couches successives des masques) on suppose que fermeture ou ouverture ont lieu avec une certaine probabilité. La question est alors de savoir si, partant d'un sommet, on peut trouver un chemin (utilisant donc des arêtes fermées) conduisant à une certaine zone. Lorsque le graphe est infini la

22. https://www.ipht.fr/Phoceavie_des_labos/News/index.php?id_news=644.

question majeure est l'existence d'un tel chemin de taille infinie (composante géante). Là encore on démontre l'existence de valeurs critiques pour les probabilités de fermeture ou d'ouverture assurant ou non l'existence d'une composante géante.

Il existe une manière de coupler la percolation (celle dite de Fortuin-Kasteleyn) avec le modèle d'Ising. Cela signifie construire de manière coordonnée une représentation de chacun des modèles. On peut alors relier température de Curie et paramètre critique de la percolation. Plus encore, les comportements près de la criticalité peuvent se comparer. C'est pour ses travaux sur ces domaines qu'Hugo Duminil-Copin vient en 2022 de recevoir la médaille Fields.

À la traîne au début des années 80, l'école française de probabilités a entamé alors un virage spectaculaire l'amenant au tout premier rang mondial en physique statistique. Les résultats les plus marquants sur la criticalité en dimension 2 sont dus à la jeune génération des chercheurs français dans le domaine. L'école française a joué également un rôle crucial dans la compréhension des limites d'échelle à la criticalité qui sont fournies dans de nombreux cas par des dynamiques (dites SLE) dont l'étude a valu à Wendelin Werner l'obtention de la médaille Fields en 2006.

Plus récemment, les liens avec la théorie des champs et la gravité quantique ont été établis. Cette fois, on confine le graphe dans un domaine donné et on augmente le nombre de sommets en diminuant la taille des arêtes. Les modèles limites obtenus sont désormais continus et, dans certaines conditions d'échelles, on retrouve les modèles de gravitation quantique. Une fois encore, l'école française est en première ligne.

Il n'est pas inutile de rappeler le prix Nobel de Physique 2021 obtenu par Giorgio Parisi, en partie pour ses travaux sur les verres de spin. Ceux-ci décrivent les propriétés d'alliages métalliques comportant des impuretés magnétiques apportant un certain désordre. Les modèles mathématiques sous-jacents sont alors une généralisation du modèle d'Ising dans laquelle l'intensité des interactions entre spins magnétiques devient aléatoire. Les intuitions magnifiques de G. Parisi sur ces modèles ont trouvé un socle mathématiquement rigoureux, il y a une dizaine d'années, dans les travaux de Michel Talagrand.

La physique statistique est aujourd'hui un domaine où les mathématiques et la physique sont totalement imbriquées, permettant l'émergence de nouvelles idées et la consolidation de nouvelles théories.

1.2.2 LE DÉVELOPPEMENT ET LES APPLICATIONS DES MATHÉMATIQUES SONT IMPRÉVISIBLES

Il est encore courant d'entendre qu'une grande partie des mathématiques est réservée à quelques spécialistes et pour l'essentiel ne sert à rien. Il en serait ainsi de certains domaines très abstraits des mathématiques fondamentales. C'est là une erreur majeure. Il est vrai qu'au moment de leur création certaines théories sont inaccessibles aux non spécialistes mais il est impossible de prédire qu'elles resteront à jamais hors du champ des applications et présentes seulement « pour l'honneur de l'esprit humain »²³. De grandes firmes privées internationales l'ont d'ailleurs compris depuis longtemps (bien avant certains États) en recrutant, certes de manière choisie, des mathématiciens fondamentaux auxquels ils laissent la bride sur le cou avec ce message : sur cent résultats obtenus par ces derniers il y en aura cinq utiles et au moins un fondamentalement utile.

Voici une illustration à partir d'un domaine spécifique des mathématiques fondamentales : la géométrie algébrique. Dans un contexte où la tentation est grande de privilégier les applications à court terme, cet exemple illustre la nécessité, au-delà du progrès des connaissances internes à une discipline, de préserver le savoir-faire de l'école française de mathématiques fondamentales.

Depuis la géométrie d'Euclide au III^e siècle avant notre ère, la géométrie a évolué sous différentes formes qui correspondent à autant de façons différentes de comprendre l'espace. Ces approches ont d'ailleurs souvent été motivées par de possibles domaines d'application, assez souvent en lien avec des préoccupations d'origine physique. La géométrie cartésienne a prolongé l'élan scientifique de la Renaissance et mis en avant le calcul en coordonnées avec lequel sont enseignées désormais la géométrie et la physique au lycée. On fait souvent naître la géométrie projective, qui code la perspective, avec Girard Desargues dont le Brouillon project de 1639 s'intéresse aux coniques mais est écrit dans la langue des... charpentiers. Elle sera réinventée au XIX^e siècle en liaison avec la géométrie descriptive de Gaspard Monge. Celle-ci est étroitement liée à des problèmes industriels, et sa mise en œuvre est assez proche du dessin industriel. La géométrie riemannienne repense la liaison du local et du global et sert de fondement à la relativité générale d'Einstein²⁴. Pour prendre un

23. *Pour l'honneur de l'esprit humain : les mathématiques aujourd'hui*, J. A. Dieudonné, Hachette, Paris 1987.

24. À noter par exemple que les GPS utilisent la théorie de la relativité générale.

exemple beaucoup plus récent, on entend de plus en plus souvent parler de géométrie tropicale²⁵ : une géométrie basée sur la redéfinition de l'addition et de la multiplication et utilisée dans des problèmes d'optimisation sur des graphes ou des réseaux. On pourrait multiplier ces exemples de théories, souvent considérées abstruses au premier contact mais sans lesquelles la science contemporaine n'existerait pas.

La géométrie trouve l'une de ses expressions modernes dans la géométrie algébrique, qui, comme le mot le suggère, est l'étude de la géométrie à l'aide des outils de l'algèbre mais également celle de l'algèbre à l'aide de la géométrie. Un cercle dans le plan, un tore (la chambre à air des vélos) dans l'espace sont deux exemples, parmi les plus simples, de formes étudiées en géométrie algébrique. Comme la topologie, dont on reparlera plus loin, elle étudie les propriétés fascinantes de formes géométriques qui vivent dans des espaces de dimensions variées. Les liens entre la France et cette discipline sont étroits, à travers plusieurs personnalités remarquables, figures des mathématiques du XX^e siècle. On en veut pour preuve les travaux de Jean-Pierre Serre et d'Alexandre Grothendieck qui comptent parmi les fondateurs de la géométrie algébrique moderne. Plus récemment, on peut citer les médailles Fields de Laurent Lafforgue en 2002 et de Ngô Bao Châu en 2010, qui ont obtenu des résultats spectaculaires sur le programme de Langlands, un programme ambitieux reliant la théorie des nombres, la géométrie algébrique et la théorie des groupes. Citons enfin la médaille d'or du CNRS de Claire Voisin en 2016 (première mathématicienne à avoir obtenu ce prix), qui mélange dans ses travaux les outils de la topologie, de l'analyse complexe et de la géométrie algébrique.

La géométrie algébrique illustre comment des mathématiques, certes abstraites, enrichissent le savoir commun mais mènent aussi à des applications surprenantes. Compte tenu de la forte présence historique d'outils et théories mathématiques en physique, on ne s'étonnera pas d'apprendre qu'elle s'est beaucoup développée récemment en lien avec des motivations venant de la théorie des cordes en physique, dans le but d'unifier théorie des particules et gravitation.

Un exemple frappant et moins attendu est l'utilisation de méthodes de géométrie algébrique en cryptographie, permettant de renforcer de manière spectaculaire les méthodes classiques (RSA²⁶ et dérivées) toujours utilisées de façon massive dans le cryptage des informations

personnelles sur Internet (commerce électronique en particulier). En 1985, Neal Koblitz et Victor Saul Miller ont introduit indépendamment l'utilisation des courbes elliptiques en cryptographie, domaine qui utilise fortement l'arithmétique et la géométrie sur les corps finis. La cryptographie sur les courbes elliptiques intervient désormais quotidiennement en sécurité informatique et en cybersécurité, que ce soit dans les protocoles d'échanges de clé ou pour les signatures numériques. Une partie importante de la recherche française en géométrie algébrique s'est portée sur la géométrie arithmétique, dont les courbes elliptiques sont des objets fondamentaux. Deux résultats phares en sont la résolution des conjectures de Weil²⁷ (qui portent sur les propriétés du nombre de solutions d'équations algébriques définies sur des corps finis) et plus récemment la preuve du théorème de Fermat. Les travaux de Laurent Lafforgue et Ngô Bao Châu, dont il a déjà été question, relèvent de ce courant.

Dans une autre direction inattendue, l'aspect le plus effectif et constructif de la géométrie algébrique, l'étude explicite des solutions de systèmes d'équations polynomiales, trouve également des applications en robotique, dans la cinématique des corps rigides. Certains mouvements de robots peuvent être décrits par des équations polynomiales.

Encore plus récemment, Alicia Dickenstein (université de Buenos Aires, Argentine) a reçu le prix L'Oréal de l'Unesco 2021, pour avoir montré comment des méthodes computationnelles de géométrie algébrique permettent d'étudier le comportement de certains modèles bien connus de biochimie ou de biologie cellulaire.

1.2.3 LES MATHÉMATIQUES SONT VIVANTES ET SE RÉGÈNÈRENT DE PLUS EN PLUS VITE

Ce qui fait la richesse de la science mathématique est son mode de construction, partant du particulier vers le général, puis reconnaissant une certaine unité au sein d'un domaine ou à la confluence de plusieurs d'entre eux, revisitant enfin ce champ sous un angle parfois totalement différent. Le résultat d'un calcul peut être moins instructif qu'un cheminement indirect qui en révèle la signification. Proposer une nouvelle démonstration d'un résultat connu amène une connaissance supplémentaire et ouvre des perspectives. Les mathématiques évoluent donc suivant ces principes. La théorie des équations aux dérivées partielles (EDP), domaine dans

25. La géométrie tropicale est dénommée ainsi en l'honneur de son inventeur brésilien, Imre Simon.

26. Du nom de ses trois inventeurs, Ronald Rivest, Adi Shamir et Leonard Adleman.

27. Résolution complétée par Pierre Deligne lors de son séjour à l'IHES en 1974.

lequel l'école mathématique française est très présente, illustre ce cheminement.

La théorie des EDP est née des besoins d'applications aux sciences naturelles et à l'ingénierie. En effet, les noms mêmes de tous les exemples classiques d'EDP, telles que l'équation de la chaleur, l'équation des ondes, les équations de transport, de l'élasticité, etc., rappellent clairement les phénomènes physiques motivant leur étude. Cependant, le développement étonnant de la théorie des EDP linéaires est allé bien au-delà de leurs applications originales produisant un énorme corpus de résultats et inspirant à l'époque d'autres disciplines mathématiques telles que l'analyse fonctionnelle, l'analyse harmonique et l'analyse numérique. Dans un tel processus, la recherche française a joué un rôle, reconnu en particulier par la médaille Fields décernée à Laurent Schwartz en 1950.

Il se trouve qu'il n'existe pas de théorie générale pour toutes les EDP et les spécialistes se sont donc focalisés sur différentes classes d'équations, toujours liées à des applications significatives. Parmi les plus connues, mentionnons les équations de Boltzmann qui décrivent la dynamique des gaz raréfiés, celles de Navier-Stokes décrivant la dynamique des fluides, les lois de conservation non linéaires, les équations de la relativité générale ou celles de l'élasticité non linéaire. Si la physique et l'ingénierie sont restées des motivations constantes, les EDP non linéaires ont trouvé d'autres sources d'inspiration : dans les sciences sociales (équations de Hamilton-Jacobi et jeux à champ moyen), les sciences de la vie (modèle de Hodgkin-Huxley) et la climatologie (modèle Budyko-Sellers-Ghil et équations quasi-géostrophiques) par exemple. On voit ainsi les mathématiques – et plus particulièrement la théorie des EDP non linéaires – devenir une sorte de langage et d'outil commun pour la science dans son ensemble.

L'école française a grandement contribué à cette évolution en participant à l'émergence de nouvelles méthodes dans le cadre non linéaire : solutions de viscosité, théorie du transport optimal ou analyse multifractale par exemple. Les médailles Fields décernées à Pierre-Louis Lions en 1994 et Cédric Villani en 2010 le confirment.

Un phénomène marquant des quinze dernières années est sans aucun doute la rupture de certaines frontières artificielles entre domaines mathématiques, afin de mieux dominer l'ensemble d'un problème. C'est le cas pour les EDP et les probabilités.

Les EDP modélisent bien souvent le comportement d'objets macroscopiques et des

quantités physiques qui les caractérisent. Une échelle intermédiaire est celle des modèles cinétiques qui, partant d'un ensemble de particules caractérisées par leur vitesse et leur position, décrivent le comportement de la densité de particules et de celle de leurs vitesses, l'exemple emblématique étant l'équation de Boltzmann. Ce domaine de la cinétique est couvert depuis vingt ans par une école française dont les apports ont été considérables.

La question suivante qui vient naturellement à l'esprit est, dès lors, la description microscopique de phénomènes dont la dynamique est de nature aléatoire. Après s'être longtemps regardés avec une sorte d'indifférence, spécialistes des EDP et des probabilités ont décidé d'interagir. Les modèles de type champ moyen, qui décrivent le comportement de particules interagissant entre elles de manière égalitaire, illustrent bien l'impossibilité de négliger désormais l'un ou l'autre aspect. Bien entendu EDP et aléatoire se nourrissent également à travers d'autres théories, tout particulièrement celles des EDP stochastiques ou celles des jeux à champ moyen.

Si l'évolution du domaine des EDP est riche et emprunte de nombreuses directions, l'une d'entre elles est représentative d'un changement de paradigme qui traverse l'ensemble des mathématiques : l'utilisation de méthodes quantitatives ou constructives. Nombre de problèmes d'analyse ont longtemps été vus à travers un triptyque simple : l'existence d'une solution, son unicité et son comportement qualitatif. Petit à petit, poussé en partie par la nécessité d'inclure les résultats dans un contexte numérique, le problème du comportement qualitatif et surtout quantitatif s'est imposé comme un problème majeur. Savoir que la solution d'une équation cinétique se stabilise sur un équilibre ne suffit plus. Il faut connaître la vitesse de stabilisation pour en déduire l'erreur commise dans un algorithme numérique de résolution approchée. La diversité de la mesure des erreurs liée à la diversité des distances entre fonctions entraîne un grand choix d'approches. Dans certains cas, cette exigence peut aller jusqu'au calcul de constantes explicites pour les bornes d'erreur.

1.2.4 L'UNITÉ DES MATHÉMATIQUES, À LA SOURCE DE LEUR UNIVERSALITÉ

Une des grandes idées mathématiques du XX^e siècle a été celle de structure, très liée à l'idée d'axiomatique : une structure²⁸ est définie par

28. Comme celle de groupe, d'espace vectoriel, d'espace topologique, etc.

le système d'axiomes correspondant. On fait en général naître le programme structuraliste avec l'école d'algèbre allemande des années 1920 pour se développer ensuite, en particulier en France, avec la rédaction des « Éléments de mathématique » du groupe Bourbaki. Une partie importante des succès des mathématiques françaises dans la seconde moitié du XX^e siècle a été liée à la mise en œuvre de ce programme. L'idée directrice était que les effets dispersifs de l'accroissement du corpus avaient vocation à être contrebalancés par l'édification de structures théoriques unifiantes. Par exemple, au début du XX^e siècle, la théorie des groupes a fourni un cadre unifiant la théorie de Galois et la théorie des invariants en géométrie (le « programme de Klein ») avant d'être utilisée en physique relativiste puis quantique.

Voici une autre illustration de ces phénomènes d'unification. Elle repose sur les fondements des mathématiques, la notion de preuve, avec une composante forte en informatique théorique, en langages de programmation et implémentations logicielles²⁹. Partons d'une figure emblématique du programme général d'unification des mathématiques, Alexandre Grothendieck. Si les notions formalisées par Grothendieck sont au cœur d'une partie importante des mathématiques contemporaines, sa pensée, ses intuitions inabouties et ses programmes de recherche alimentent aujourd'hui encore de nombreux travaux, en France et ailleurs. Une partie de ses idées apparaît dans son « Esquisse d'un programme » en 1984, liant la topologie et la théorie des catégories. La notion topologique d'homotopie est assez naturelle. Attachez un lacet autour d'un cube ou d'une boule et vous pourrez sans défaire le nœud le faire glisser pour le récupérer. Faites de même sur une chambre à air (un tore) et vous devrez défaire le nœud pour récupérer le lacet. Il est du reste connu que la vision des nourrissons entre 6 et 12 mois est de nature topologique, en particulier homotopique : ils confondent un cube avec une boule (n'ayant pas la notion des « coins ») mais pas avec un tore. La notion de catégorie supérieure est un peu plus délicate à comprendre. Classiquement, une catégorie est la donnée d'objets (par exemple des ensembles ou des espaces topologiques) et de transformations entre eux (par exemple des applications ensemblistes ou continues). On peut chercher à donner un sens à l'idée de transformations entre transformations, de transformations entre transformations, etc. Il y a de nombreuses façons de procéder, mais c'est là l'idée des catégories d'ordre supérieur.

29. Les interactions multiples et fructueuses entre les mathématiques et l'informatique, dont les frontières sont poreuses, font l'objet du chapitre 9 du Vol. 2 SNM ADIS.

La trajectoire du mathématicien russe Vladimir Voevodsky s'est inscrite d'abord dans une filiation grothendieckienne avec la recherche d'une théorie homotopique pour les variétés algébriques, travaux pour lesquels, entre autres³⁰, il a obtenu la médaille Fields en 2002. Il a déclaré avoir appris le français dans l'unique but de comprendre le texte (en français) de Grothendieck « Esquisse d'un programme ». Il s'est ensuite engagé dans un programme ambitieux, la « théorie homotopique des types », avec comme motivation le besoin de certification de ses résultats. La notion de type est une notion introduite d'abord en logique mathématique pour essayer de remédier aux paradoxes de la théorie des ensembles apparus au début du XX^e siècle, puis transposée en informatique théorique et en programmation pour caractériser de manière générale les objets utilisés. Elle a par exemple été développée en lambda-calcul et a permis de mettre au point les premiers logiciels de vérification de preuve tel que Coq du Français Thierry Coquand actuellement professeur d'informatique théorique en Suède. La théorie homotopique des types mélange topologie, informatique théorique, logique mathématique et théorie des catégories (en particulier supérieures).

Ce type d'aventure mathématique, intellectuelle et scientifique, est à l'image de la richesse et de l'imprévu des mathématiques contemporaines. Ces développements, tant conceptuels que pragmatiques, n'auraient certainement pas été imaginés quelques décennies plus tôt et démontrent que les mathématiques ne peuvent être réduites à quelques idées applicatives ou quelques calculs explicites à un temps t , au gré de modes fluctuantes. C'est dans la rencontre entre la diversité de leur spectre et de leur unité profonde, qu'elles trouvent leur pleine mesure.

1.2.5 LES MATHÉMATIQUES AU CŒUR DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Ces dernières années ont vu l'irruption dans le paysage scientifique de ce qu'on appelle désormais la science des données. L'explosion des capacités de stockage et de calcul informatiques a révolutionné la vie quotidienne de chacun et amené un point de vue nouveau dans toutes les disciplines scientifiques. Le postulat est simple : tout ou presque peut être numérisé puis reconstruit à l'aide d'algorithmes adaptés. La distance de la coupe aux lèvres n'étant pas toujours aussi courte que souhaitée, la tâche pour vérifier ce postulat est immense et les

30. En particulier la preuve de la conjecture de Milnor et la construction d'un modèle cohérent de la cohomologie motivique.

mathématiques en sont au cœur. Le premier exemple venant à l'esprit est bien entendu l'intelligence artificielle (IA).

L'intelligence artificielle est née dans les années cinquante. Elle désigne l'ensemble des théories et techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine. Au centre de la discipline se trouve l'apprentissage automatique (machine learning). Comme un enfant qu'on ne laisse pas seul dans la rue pendant trois heures pour qu'il apprenne le monde, un mode particulièrement important est l'apprentissage supervisé (ce qu'on appelle l'éducation pour un enfant). Depuis l'introduction des premiers réseaux de neurones linéaires (perceptron) par Frank Rosenblatt en 1957, de nombreuses méthodes d'apprentissage supervisé ont été proposées. Parmi les dernières en date, on peut citer l'apprentissage profond basé sur des réseaux de neurones multicouches introduits et développés par le Français Yann Le Cun, professeur à l'université de New York, titulaire en 2016 de la chaire informatique et sciences numériques au Collège de France. Ce même Collège de France a, du reste, créé en 2017 la chaire sciences de données dont Stéphane Mallat est le titulaire.

Si cette discipline de recherche est jeune au sein de l'école mathématique française, elle a connu un essor spectaculaire. Bien entendu, ancrée sur les techniques d'estimation statistique, elle met en

jeu d'autres champs mathématiques. Ce qui est caractéristique du domaine est le fait de travailler en grande dimension, un nombre gigantesque de variables intervenant, par exemple, pour étudier une image ou un signal. On parle parfois de « fléau de la dimension ». Qui plus est, la taille des échantillons d'apprentissage peut être inférieure au nombre de paramètres. Ceci exclut le recours aux résultats asymptotiques de la théorie statistique classique, par exemple, ceux appris par les élèves au lycée pour estimer la proportion de oui à partir d'un sondage (théorème central limite).

Il n'est dès lors pas surprenant de voir apparaître des outils mathématiques nouveaux issus de domaines divers : optimisation, géométrie, mécanique statistique, topologie algébrique, entre autres. On peut du reste s'appesantir un peu sur l'irruption de méthodes mathématiques issues des mathématiques fondamentales dont il a été question auparavant, dans un domaine à la finalité très applicative voire technologique. La compréhension de la structuration géométrique des données (pour des applications aussi diverses que la reconnaissance d'images ou le guidage aéronautique) est extrêmement coûteuse si on ne met pas en œuvre des méthodes adaptées. Les méthodes d'ondelettes, avec toutes leurs déclinaisons (bandelettes, contourlettes, etc.) ont été dans le domaine du signal et en particulier de l'image, la révolution de la fin du siècle dernier. Depuis quelques années, les méthodes géométriques et topologiques, comme par exemple l'homologie persistante³¹, proposent de nouveaux outils dont la pertinence apparaît de plus en plus claire. Des idées nées d'une volonté de construction universelle se révèlent fructueuses. En retour, certains questionnements nouveaux au sein des mathématiques sont les conséquences des développements de l'IA³².

Là encore, on retrouve ici de manière inattendue la notion d'universalité. Lorsqu'on additionne en grand nombre des réponses aléatoires, indépendantes les unes des autres, le résultat suit une loi de Gauss. Elle a donc un caractère universel : peu importe la structure des données initiales, les sommer fournit toujours le même objet. Cette universalité (avec d'autres objets limites) a été observée sur des modèles plus sophistiqués, en particulier les matrices aléatoires, domaine où la France possède parmi les meilleurs experts au monde. Ceux-ci étaient sans doute loin d'imaginer que leurs travaux pourraient (rapidement en l'occurrence) résonner en IA, ce qui pourtant est le cas pour l'étude des réseaux multicouches.

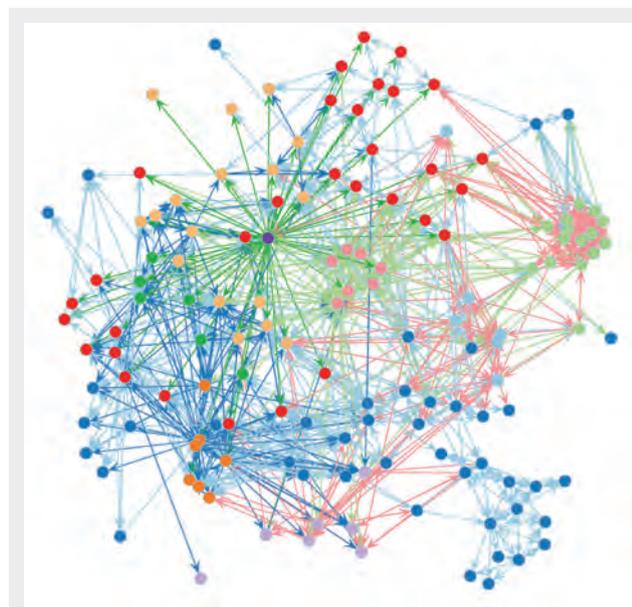


Figure 4

Analyse d'un réseau d'e-mails par la méthode statistique STBM (Stochastic Topic Block Model) développée par C. Bouveyron, P. Latouche et R. Zreik en 2017. Cette méthode permet d'identifier les thèmes majoritaires de discussions (couleurs des arêtes) et de classifier les intervenants (couleurs des nœuds).

(<https://res.univ-tlse3.fr/geometrie/representations/>)

31. L'homologie persistante permet de coder la géométrie d'un objet à travers certaines quantités algébriques, les groupes d'homologie.

32. Voir Vol. 2 SNM ADIS chapitre 7 « Statistique et mathématiques de l'intelligence artificielle ».

L'apprentissage est donc un domaine à défricher où l'imbrication des connaissances et des théories mathématiques apparaît désormais clairement. On assiste aujourd'hui à l'organisation d'une nouvelle communauté très interdisciplinaire, à l'interface de l'informatique et de nombreux domaines des mathématiques.

1.2.6 LES MATHÉMATIQUES OUTIL DE RÉFLEXION SUR LE VIVANT ET LA PLANÈTE

Le plus grand défi auquel l'humanité sera confrontée dans les années à venir est celui de ses relations avec la nature. Ce défi comporte à l'évidence une composante scientifique fondamentale : mieux comprendre les phénomènes biologiques et environnementaux est un des leviers principaux pour mener une réflexion et des politiques pertinentes. Les mathématiques apparaissent comme un outil important pour améliorer cette compréhension.

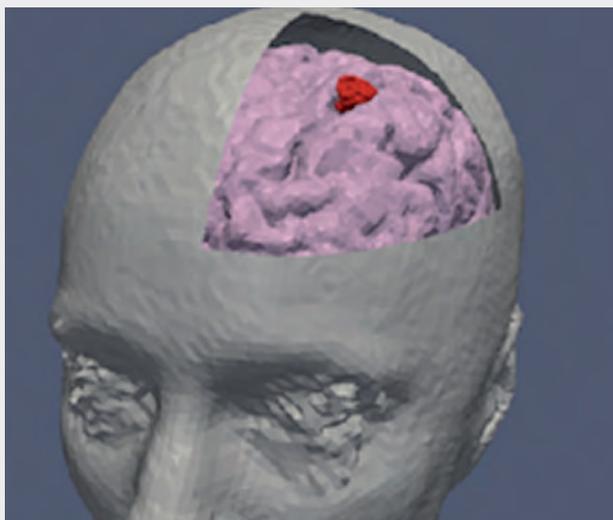


Figure 5

Des modèles de croissance de tumeur permettent aujourd'hui de prévoir l'évolution d'une tumeur. Cette modélisation mathématique de la croissance d'un méningiome (en rouge) et de son effet sur le cerveau (en rose) a été réalisée dans le cadre du projet Nénuphar, à Bordeaux.

Le milieu du XIX^e siècle a vu naître la formalisation mathématique de processus biologiques (génétique, dynamique des populations). La première moitié du XX^e siècle a vu se conceptualiser la notion de « hasard » en biologie. Contrairement aux interactions entre les mathématiques et la physique, et sans doute conséquence d'une certaine défiance réciproque de nature épistémologique, les liens scientifiques étroits entre sciences du vivant

et mathématiques sont longtemps restés à un niveau modeste (en nombre) et restreints à des organismes de recherche spécifiques (comme, en France, l'ex Inra, devenu récemment Inrae, et son département MathNum de mathématiques et numérique³³).

Ce n'est qu'à la toute fin du siècle dernier que les interactions entre mathématiques, biologie et santé ont entamé en France un essor derrière quelques groupes de très grande qualité, essor qui s'est encore amplifié les quinze dernières années : création d'enseignements spécifiques, mise en place de structures de collaborations et d'équipes projets communes Inria-Inrae, création du CID³⁴ 51 au CNRS, mise en place de grands programmes interdisciplinaires comme « mathématiques de la planète terre » et le projet de PEPR³⁵ mathématiques pour le vivant, l'environnement et la société qui sera présenté en section 2.5 de ce rapport. Ce développement institutionnel en France résonne avec l'évolution de ces interactions au niveau mondial. Le Congrès Mondial des Mathématiciens (ICM 2022) a introduit une session consacrée à la modélisation mathématique, où s'illustre Sylvie Méléard, oratrice française et leader du domaine. Cette reconnaissance de la qualité de la recherche française en mathématiques-biologie succède à l'obtention en 2016 de l'un des prix de la Société mathématique européenne (EMS) par Vincent Calvez, spécialiste français du domaine.

La modélisation mathématique des phénomènes biologiques a ainsi pris une part de plus en plus importante face à l'analyse des données, historiquement très forte. Un équilibre s'est aussi établi entre modèles déterministes et aléatoires, les frontières entre les deux étant désormais largement tombées au profit d'une mise en commun des savoirs et des méthodes. C'est par exemple le cas pour les déplacements cellulaires (*run-and-tumble*) où équations cinétiques, équations différentielles couplées, équations stochastiques se mêlent et se répondent.

Si la modélisation mathématique du vivant a désormais montré sa pertinence, elle a encore devant elle un immense terrain à défricher. Les sciences du vivant et de la santé sont grosses pourvoyeuses de données très diverses et multi-échelles. Les moyens modernes de classification, d'ordonnancement et d'analyse sont donc particulièrement opportuns pour donner du sens à ces données. Ces aspects font désormais largement partie de la bio-informatique et ont parfois échappé aux équipes de statistiques.

33. Voir par exemple le meta-programme digitbio d'Inrae, <https://www6.inrae.fr/digitbio/>.

34. Commission Interdisciplinaire du Comité National du CNRS, « Modélisation mathématique, informatique et physique pour les sciences du vivant ».

35. Programme et équipement prioritaire de recherche.



Cependant, ces vingt dernières années ont vu des avancées méthodologiques importantes en statistique, par exemple en génomique (co-expression des gènes), sur les tests multiples, etc. Les nouveaux modèles d'apprentissage en statistique devraient trouver là un champ de développement.

L'importance des données du vivant n'est pas cantonnée à leur traitement statistique. La donnée est devenue une part essentielle dans la réflexion sur la modélisation. Elle est du reste au centre du paradoxe de l'interdisciplinarité nouée entre les mathématiques et les sciences du vivant : là où le mathématicien (et bien souvent également le physicien) recherche des principes généraux, voire universels, permettant de comprendre un comportement générique, le biologiste, et plus encore le professionnel de santé, recherchent la spécificité, la singularité de l'individu. Cette différence majeure de cible scientifique est un frein qui exige des efforts importants dans les collaborations, efforts dont les deux communautés commencent à comprendre les enjeux.

L'interdisciplinarité avec les sciences du vivant pose aussi d'autres questions. La première est une question majeure et systématique : est-il nécessaire de développer et d'étudier un modèle par une analyse mathématique approfondie ou suffit-il de réaliser une simulation numérique pour en valider la pertinence et les qualités prédictives ? Une partie de la communauté du vivant considère désormais qu'une réflexion en profondeur est nécessaire. La seconde question est liée au fait que les modèles ne sont pas exacts, voire caricaturaux, et ne peuvent s'appliquer à tout individu. Ils restent cependant informatifs, comme le sont les données globales fournies par l'épidémiologie (par exemple, le pourcentage de cas graves dans une population infectée). Cette question devient actuellement obsolète avec l'hybridation entre modèles stochastiques et déterministes, avec l'apprentissage automatique et avec le développement de l'assimilation de données dans les modèles (ces techniques permettant d'intégrer des données et effets individuels dans des modèles génériques). La troisième question concerne l'adéquation entre le temps mathématique et plus généralement celui de la recherche fondamentale, qui est long, et celui de l'observation, médicale par exemple, qui est court. Cette question est d'une certaine façon proche de la première. La réponse est qu'il est possible de mettre en œuvre des outils mathématiques de types différents prenant en compte ces différents temps de la recherche.

L'exemple de la pandémie du Sars-CoV-2 en a apporté la preuve, au moins partiellement. La communauté mathématique française a très

rapidement fait offre de service et nombre de mathématiciens se sont intéressés aux modèles des épidémiologistes (inspirés du modèle compartimental de Kermack-McKendrick datant de 1927 et qui reste encore largement utilisé). Avec l'appui du CNRS, la plateforme MODCOV19 s'est mise en place dès le printemps 2020 ; elle se veut lieu de rencontre et d'échanges entre mathématiciens, biologistes et chercheurs en santé. Il est encore tôt pour tirer des enseignements de l'activité riche et intense de cette plateforme ; cependant, elle a permis de proposer au monde de la santé des méthodes originales, reposant sur la modélisation, l'intégration de données multi-sources, l'analyse de sensibilité ou encore le calcul des incertitudes dans les prédictions l'analyse de sensibilité.

Le travail en commun a vocation à être poursuivi, en prenant mieux en compte les différences de pratiques entre les deux communautés, qui constituent dans certains cas un frein à l'efficacité. Le monde de la santé, après avoir longtemps utilisé les mathématiques comme outil de sélection à l'entrée de ses formations, a souvent fait le choix d'associer à ses équipes de recherche des mathématiciennes et des mathématiciens « maison », plus près des problématiques médicales mais souvent rapidement coupés des progrès mathématiques. La crise sanitaire a mis en évidence les difficultés, conséquences de cette situation, avec leur lot d'incompréhensions mutuelles malgré les efforts consentis. Le mathématicien ne peut ressentir qu'une certaine frustration face à des résultats dont la méthode d'obtention est partiellement cachée et les données de validation inaccessibles.

Le domaine des mathématiques de la biologie ou des mathématiques en biologie a su se créer une place dans le paysage scientifique. Il est crucial que cet espace soit respecté et soutenu. Les méthodes automatisées de traitement des données ne peuvent pas à elles seules construire le savoir. La France a des locomotives dans le domaine qui ne demandent qu'à être suivies. Elle doit aussi faire face à des difficultés structurelles liées à une hyper spécialisation précoce des formations, séparant très rapidement sciences exactes et sciences du vivant ainsi qu'à une organisation de la recherche aux cloisons parfois étanches.

Les sciences de la terre et de l'univers, quant à elles, ont largement recours à la modélisation et sont grandes consommatrices de moyens de calcul : le Cerfacs³⁶ travaille ainsi avec Météo France sur la climatologie ou l'océanographie. L'Institut Pierre Simon Laplace, avec sept tutelles dont les trois

36. Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique.

organismes CEA, CNRS et IRD, a une activité très soutenue en simulations numériques du climat, utilisées en particulier dans le cadre des études du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Depuis longtemps, les modèles d'EDP de la mécanique des fluides trouvent une de leurs applications en océanographie: turbulence, modèles de vagues, écoulements fluides ou viscoplastiques, problèmes multicouches, etc. L'imagerie satellitaire, l'aérodynamique, l'observation des couches plus profondes de l'écorce terrestre et l'imagerie sismique introduisent des problèmes passionnants de reconstruction (problèmes inverses, tomographie). Même si nombre de projets individuels ont vu le jour ces dernières années, la modélisation mathématique du climat reste embryonnaire par rapport aux nombreux enjeux soulevés par les transitions en cours (climat, occupation et érosion des sols, énergie, biodiversité, etc.).

1.3 LES MATHÉMATIQUES EN INTERACTION AVEC LE MONDE ÉCONOMIQUE

Si depuis Galilée on convient que « la nature est un livre écrit en langage mathématique », cette assertion est encore plus vraie pour la technologie moderne. Il n'est désormais plus une seule industrie ou entreprise innovante qui ne doive faire appel, à une étape ou à une autre de son développement, à des outils de modélisation mathématique. Alors que l'utilisation intensive des mathématiques est longtemps restée l'apanage des grandes entreprises technologiques (aéronautique, énergie, communications, etc.) ou des grands projets étatiques (défense, nucléaire, météorologie, spatial, etc.), on constate que depuis la fin du XX^e siècle de nouveaux secteurs économiques ont été littéralement envahis par les mathématiques. Qu'on songe à l'irruption des mathématiques financières dans les banques, aux problèmes inverses de l'imagerie médicale dans les hôpitaux, aux algorithmes de recherche ou de recommandation proposés par les grandes entreprises de l'internet - sans parler du raz de marée des données et de leur traitement.

Les mathématiques sont devenues un instrument essentiel du développement technologique et industriel de nos sociétés modernes. De ce point de vue, il est incontestable que cette science représente une formidable boîte à outils pour résoudre les problèmes qui se posent aux entreprises et les accompagner dans leur progression. Mais ce qui est moins connu, et n'en est pas moins essentiel, c'est que, à l'inverse, les entreprises sont une formidable et inépuisable

source de problèmes mathématiques nouveaux, aussi bien de caractères appliqués que fondamentaux, qui conduisent bien souvent au développement de théories mathématiques nouvelles. L'échange entre mathématiques et entreprises est donc à double sens et profondément fécond. Bien sûr, cette interaction permet aussi un élargissement considérable des débouchés des formations en mathématiques - ce point sera abordé dans les chapitres 2 et 3 de ce volume.

Certains domaines des mathématiques sont traditionnellement plus associés aux relations avec les entreprises: ainsi la statistique, la simulation numérique, le contrôle et l'optimisation, le traitement du signal, par exemple. Mais de nos jours il n'est plus une seule sous-discipline mathématique pouvant se considérer « à l'abri » d'une utilisation dans le monde des entreprises. Pour s'en convaincre, il suffit de songer à la théorie des nombres pour la cryptographie, la géométrie algébrique réelle pour la conception assistée par ordinateur ou la topologie pour l'analyse de données. Une particularité remarquable des interactions entre mathématiques et entreprises est leur caractère nécessairement pluridisciplinaire. Les mathématiciens et leurs interlocuteurs des entreprises, souvent ingénieurs, ne sont pas seuls mais font partie d'équipes regroupant plusieurs spécialités concentrées vers un même objectif scientifique. En effet, selon le secteur d'activité, d'autres scientifiques se joindront aux mathématiciens et aux ingénieurs: mécaniciens des milieux continus dans la construction, mécaniciens des fluides en aéronautique, physiciens dans le domaine de l'énergie, médecins dans le secteur de la santé, etc. Cette capacité de dialogue et de compréhension entre disciplines scientifiques, dans un contexte de sciences de l'ingénieur, est une des conditions du succès des interactions entre mathématiques et entreprises.

Une particularité française est le niveau élevé de formation mathématique des ingénieurs au sein des grandes écoles. Ce modèle n'est pas universel: par exemple, dans de nombreux pays anglo-saxons, les formations d'ingénierie sont peu mathématisées et beaucoup plus fondées sur des raisonnements pragmatiques alors que les compétences de haut niveau en mathématiques sont l'apanage des docteurs. Néanmoins, cette formation des ingénieurs est un atout pour les entreprises françaises et favorise leur ouverture à l'international: on parle beaucoup français dans les services de trading de la City ou de New York ou dans les services de R&D des grandes compagnies du numérique.

Voici trois exemples représentatifs parmi d'autres. Il est indéniable que la France est un grand



pays dans l'aérospatial. Le succès des grandes entreprises du secteur, Airbus, Safran, Dassault Aviation, Arianespace, entre autres, est dû pour partie à leur très forte activité de recherche, aussi bien en interne qu'avec le concours de grands organismes de recherche et du milieu académique. Cette recherche a toujours été partagée entre un volet expérimental (par exemple, les souffleries, qui permettent de tester des maquettes ou des prototypes) et un volet théorique, reposant essentiellement sur la simulation numérique. La proportion de chacune de ces deux composantes a aujourd'hui grandement évolué vers une utilisation de plus en plus réduite et tardive de la phase d'expérimentation. L'utilisation de la simulation numérique est de plus en plus massive et systématique, au point que l'on peut dire que les modèles d'avions sortis depuis les années 2000 ont d'abord volé dans les ordinateurs avant d'effectuer ce qu'on appelait auparavant le premier vol, qui inaugurerait une longue série d'essais en vol mais qui n'est plus maintenant qu'un point de passage avant la certification définitive de l'aéronef. Cette évolution a été rendue possible autant par les progrès continus des capacités des ordinateurs, qui permettent la réalisation de calculs complexes, que par les développements, tout aussi soutenus, des modèles mathématiques, des schémas numériques et des algorithmes de calculs qui accompagnent de manière quasiment parallèle les progrès informatiques. Depuis les travaux fondateurs de Jean Leray en 1934 sur l'analyse des équations de Navier-Stokes décrivant l'écoulement d'un fluide visqueux incompressible, l'école mathématique française s'illustre dans la compréhension théorique, la simulation numérique et le contrôle ou l'optimisation des modèles de la mécanique des fluides. Au-delà de l'aérodynamique, l'industrie aéronautique est une formidable pourvoyeuse de problèmes mathématiques autour, par exemple, de l'électromagnétisme (radars, compatibilité électromagnétique avec les milliers de kilomètres de câblage électrique dans les avions), de l'acoustique, de l'exploitation statistique des données des enregistreurs de vol, des vibrations fluide-structure ou de la combustion dans les réacteurs. C'est sur ce dernier point que se situent les enjeux les plus cruciaux dans un proche avenir avec la volonté d'utiliser une énergie décarbonée, par exemple en développant une filière économiquement viable de carburants synthétiques, les e-fuels.

Un deuxième exemple est l'optimisation de la production et de la distribution d'électricité en France. La production électrique doit en permanence équilibrer la demande. C'est une contrainte d'autant plus forte que cette demande varie de façon importante au cours du temps, dans la journée ou au fil des saisons.

À l'ère de la transition énergétique, les sources d'approvisionnement en électricité sont multiples et parfois aléatoires ou intermittentes quand il s'agit des énergies renouvelables comme le solaire ou l'éolien. Ceci constitue un nouveau défi pour la prévision de la production et l'optimisation des ressources. Les conséquences de la guerre en Ukraine sur l'approvisionnement en énergie de toute l'Europe, voire du monde entier, sont là pour rappeler l'importance de disposer d'outils d'optimisation. La programmation à court terme (intra-journalier) ou à long terme (annuel) fait donc appel à des techniques d'optimisation, de théorie des jeux et d'analyse des données de plus en plus complexes. Pour répondre à des objectifs multiples et parfois contradictoires, les modèles mathématiques doivent prendre en compte des variables continues et discrètes (de type on/off) en très grande dimension ainsi que des contraintes dont certaines sont de nature probabiliste. La France a acquis un savoir-faire indéniable dans ce domaine grâce à une forte synergie entre les équipes de recherche et développement d'EDF, qui sont au meilleur niveau mondial sur le sujet, et les milieux académiques de l'optimisation, de la statistique et de la recherche opérationnelle. Un témoignage convaincant de cette très forte interaction est l'existence depuis 2012 du programme Gaspard Monge pour l'optimisation et la recherche opérationnelle (PGMO) au sein de la fondation mathématique Jacques Hadamard (FMJH), laquelle regroupe l'ensemble des mathématiciens du plateau de Saclay. Ce programme est financé par un mécénat d'EDF et permet de soutenir des projets de recherche, au niveau local, national et international, autour de l'optimisation et de la recherche opérationnelle. Le PGMO a acquis une grande notoriété et est exemplaire des collaborations entre la communauté mathématique et les entreprises, en dépassant le cadre d'un simple contrat ponctuel, il joue un rôle structurant pour toute une communauté.

Il n'est pas possible de terminer ce survol des liens entre la communauté mathématique et le monde de l'entreprise sans mentionner le rôle essentiel que jouent les mathématiques dans la floraison importante de jeunes entreprises innovantes, ce qui constitue le troisième exemple d'interactions avec l'économie. En effet, l'explosion des activités liées à l'exploitation des données et à la révolution numérique a mis les mathématiques au cœur de nombreuses innovations qui modifient en profondeur le paysage économique et, partant, le gisement d'emplois pour de jeunes mathématiciens et mathématiciennes. Cette véritable explosion du nombre de start-up technologiques concerne tous les secteurs de l'économie, y compris ceux qui étaient jusque-là les moins accessibles aux mathématiques, comme la santé, le marketing,

ou l'agro-alimentaire. Le profil des créateurs de ces jeunes pousses est très diversifié : on y retrouve des jeunes à la sortie de leurs études, des ingénieurs plus expérimentés mais aussi des enseignants-chercheurs ou des chercheurs en mathématiques dont certains ont eu un parcours académique extrêmement brillant qui ne les a pas éloignés, pour autant, de l'entreprenariat. Ce mouvement est à double sens : il ne s'agit pas que d'un transfert technologique car il s'accompagne également de l'émergence de nouveaux problèmes qui viennent féconder la recherche en mathématiques. On peut, par exemple, citer les activités liées au chiffrement et à l'anonymisation des données massives. Plus généralement le respect de contraintes éthiques ou juridiques constitue un défi collectif pour les mathématiciens. De même, le monitoring de tumeurs cancéreuses, le suivi épidémiologique ou la gestion de ressources halieutiques posent des questions nouvelles en théorie du contrôle et la classification d'images conduit à des développements spectaculaires d'algorithmes efficaces en transport optimal.

1.4 MÉDIATION SCIENTIFIQUE ET INTERACTIONS ART ET SCIENCE

Les mathématiques en France occupent une place à part dans l'inconscient collectif, entre la crainte et le respect qu'elles inspirent dans le système scolaire et la méconnaissance de ce qu'elles apportent aux sciences, à l'économie et à la société en général.

L'idée de transmettre la connaissance scientifique au grand public n'est pas nouvelle. À l'orée du XX^e siècle, ce souci habitait déjà Émile Borel³⁷ qui partageait avec Jean Perrin la volonté de « révéler » la science. Leur souhait était alors d'associer le plus grand nombre à un progrès scientifique dont ils pensaient qu'il ferait le bonheur des peuples. Aujourd'hui, les motivations de la popularisation des sciences sont autres : il s'agit plutôt de lutter contre une défiance de plus en plus grande envers les sciences, d'expliquer ce qu'elles peuvent apporter à l'ensemble de la société et d'alimenter le désir profond de connaissance et de découverte de tous.

La popularisation des mathématiques fait partie de la « médiation scientifique » et entre dans cette logique d'explication. Il s'agit d'amener le public à une meilleure compréhension de ce que sont les mathématiques, et de montrer que les

mathématiques sont vivantes. La médiation scientifique s'est également développée dans les années 90 autour de motivations sociales et égalitaires, en cherchant à encourager les talents dans les quartiers les moins favorisés et en promouvant tout particulièrement les mathématiques auprès des filles. Ces actions auprès des jeunes trouvent depuis une vingtaine d'années une nouvelle motivation dans la baisse de niveau constatée dans l'enseignement secondaire et les résultats médiocres de la France aux tests de niveau comme le test Pisa ; ce point sera longuement développé dans la section 3.7. Enfin, depuis une dizaine d'années, la cible de la médiation en mathématique inclut également les enseignants et les enseignantes du primaire et du secondaire, qui la réclament. On voit se développer des propositions émanant des laboratoires de mathématiques visant à soutenir les professeurs de mathématiques du secondaire dans leur métier, à maintenir et renouveler leur passion pour les mathématiques en offrant un service de formation continue de haut niveau.

Les actions de médiation sont nombreuses. Certaines ont un écho particulier, comme les rendez-vous proposés lors de la Fête de la Science³⁸, du Pi-Day³⁹ (14 mars = 3.14) ou de la semaine des mathématiques⁴⁰. Les rendez-vous proposés dans le cadre de MATH.en.JEANS ou MathC2+ sont désormais des dates importantes dans l'agenda des laboratoires, qui animent à cette occasion diverses activités en direction des scolaires, des collégiennes et collégiens, des lycéennes et lycéens, et du grand public. L'opération DigiFilles⁴¹ offre des dizaines de stages d'observation des métiers du numérique pour susciter des vocations chez les jeunes filles. Les principales actrices de la médiation mathématique en France sont des associations qui ont fleuri un peu partout sur le territoire, comme par exemple l'association Animath et le Centre international des jeux mathématiques (CIJM)⁴² qui proposent entre autres aux plus jeunes de nombreux concours prestigieux et des activités. Conférences grand public, expositions et événements, maisons et musées des mathématiques constituent autant d'initiatives heureuses portées par des mathématiciennes et des mathématiciens bénévoles. Elles ont lieu au sein des laboratoires ou en dehors et sont soutenues par des structures relativement récentes, qui seront présentées dans le chapitre suivant.

38. <https://www.fetedelascience.fr/>.

39. <https://www.piday.fr/>.

40. <https://www.education.gouv.fr/la-semaine-des-mathematiques-7241>.

41. <https://www.digifilles.fr>.

42. À noter la parution récente de la brochure Les Maths, Oui ça sert ! dans la collection Maths Express du CIJM, qui donne un bel échantillon des multiples domaines, scientifiques ou de la vie courante, où les mathématiques interviennent. <https://www.mathsenvie.fr/?p=9949>.

37. « Le Hasard », Émile Borel, 1914.

Journaux, émissions radiophoniques ou télévisuelles ne sont pas en reste et participent aussi à ce rapprochement entre sciences et société. Soutenues en particulier par les sociétés savantes mathématiques françaises, des journées SciencesIMédias⁴³ réunissent tous les deux ans journalistes et scientifiques autour de thématiques concernant la place de la science dans les médias. Sans oublier internet qui démultiplie aujourd'hui les possibilités de toucher le plus grand nombre, avec par exemple les mises en lignes de grandes conférences « un texte, un mathématicien », la série de vidéos en format court « les 5 minutes Lebesgue » ou encore l'incursion récente dans le paysage d'acteurs hors académiques comme les youtubeurs professionnels (Bruce Benamran avec le site e-penser, Doc Nozman, Mickael Launay avec le site Micmaths⁴⁴ consacré aux mathématiques).

Parmi les différentes formes de médiation scientifique, celle qui mêle science et art occupe une place particulière. Mathématiques et arts, domaines de créativité par excellence, cheminent ainsi ensemble de longue date. La géométrie s'est invitée par exemple très tôt dans l'histoire en peinture ou en architecture. Les collaborations entre le monde des mathématiques et celui de l'art sont aujourd'hui encore très fortes et des initiatives surgissent un peu partout. Le célèbre « Ouvroir de littérature potentielle »⁴⁵, qui comprend plusieurs mathématiciennes et mathématiciens en ses rangs, propose au travers du livre « Paris-math, the livre, le book » une visite de Paris toute mathématique. En 2013, le CIRM⁴⁶ à Marseille a mis son parc à la disposition de plusieurs artistes inspirés par les mathématiques pour y tenir une exposition commune sur des bâches⁴⁷. En 2016, la Fondation Cartier pour l'art contemporain a ouvert ses portes à la communauté des mathématiciennes et des mathématiciens et sollicité des artistes pour les accompagner dans la réalisation de l'exposition « Mathématiques, un dépaysement soudain »⁴⁸. Au Mans, Covariance⁴⁹ (2015) est un ensemble de 48 photographies issues d'objets mathématiques réalisé par Raphaël Dallaporta à la suite d'un dialogue avec Alexandre Brouste, professeur à l'université du Maine.

La création d'espaces d'exposition consacrés aux mathématiques s'est donc imposée peu à peu ;

43. <http://sciencesetmedias.org>.

44. La vidéo « Le calcul qui divise : $6 \div 2(1+2)$ – Micmaths », <https://www.youtube.com/watch?v=tYf3CpbqAVo>, a été vue plus de 2,8 millions de fois au moment de l'écriture de ce rapport.

45. Oulipo, <https://www.ouliipo.net/fr/oulipiens/o>.

46. <https://www.cirm-math.fr/>

47. MathémArtistes2013, <https://www.youtube.com/watch?v=opqSbSUaojQ&t=2s>.

48. <https://www.fondationcartier.com/expositions/mathematiques>.

49. <https://jeankentagauthier.com/fr/artistes/presentation/3/ethan-levitas>.

c'est un phénomène nouveau et international, que l'on retrouve aux États-Unis avec le Momath ou en Allemagne avec le Mathematikum. Une conférence de l'ICM 2022 est consacrée à ce sujet⁵⁰ : Manjul Bargava (Princeton, États-Unis), médaille Fields 2014, a donné une conférence en ligne intitulée *Lecture on the role of mathematics museums*.



Figure 6

Surface algébrique rationnelle du 8^e degré, par Joseph Caron, 1910-1915.

Collections de l'Institut Henri Poincaré (sous licence Creative Commons)

Le 7^e art enfin n'est pas en reste. De nombreux films décrivant le parcours exceptionnel de grands noms des mathématiques ont été projetés en salle ces dernières années. En France : le film « Comment j'ai détesté les maths »⁵¹ d'Olivier Peyon propose une immersion dans le quotidien des chercheuses et des chercheurs en mathématiques tandis que « Dimensions, une promenade mathématique »⁵² et « Chaos, une aventure mathématique »⁵³, d'Étienne Ghys, Aurélien Alvarez & Jos Leys se veulent plus pédagogiques. Les mathématiques sont aussi interpellées par la compagnie Terraquée⁵⁴ avec à son catalogue plusieurs pièces de théâtre aux noms évocateurs : « Pi, le nombre à deux lettres », « Il est rond mon ballon », « Les indécis, cabaret statistique », etc. ●

50. <https://icm2022.org/special-sectional-lectures>.

51. <https://archive.org/details/Comment.J.ai.Deteste.Les.Maths.2013>.

52. http://www.dimensions-math.org/Dim_fr.htm.

53. <https://www.chaos-math.org/fr.html>.

54. <https://www.cieterraquee.com>.



CHAPITRE 2

UN INSTANTANÉ DE LA COMMUNAUTÉ MATHÉMATIQUE FRANÇAISE

2.1 UN FONCTIONNEMENT EN RÉSEAUX STRUCTURÉS

2.1.1 OÙ SE FAIT LA RECHERCHE EN MATHÉMATIQUES ?

Tableau 1

Quelques chiffres sur les laboratoires du Corpus Hcéres

73 laboratoires du corpus Hcéres
57 universités tutelles
7 centres Inrae
9 centres Inria
35 écoles tutelles ou partenaires
4 écoles normales supérieures

La recherche académique française en mathématiques s'effectue aujourd'hui principalement au sein de laboratoires de mathématiques ou en interaction qui sont localisés dans les universités, dans un certain nombre de grandes écoles ou dans des centres de recherches appartenant à d'autres organismes. Les laboratoires de mathématiques forment un maillage assez homogène du territoire avec une plus forte concentration en Île-de-France⁵⁵.

Ces laboratoires associent souvent des organismes de recherche et universités ou grandes écoles. Ils peuvent accueillir également des équipes-projet Inria, groupements souples composés de membres de différents statuts, hébergés ou non dans des laboratoires universitaires.

Ces laboratoires sont très majoritairement structurés en équipes thématiques qui couvrent tout ou partie du spectre des mathématiques, depuis les aspects les plus fondamentaux de la discipline jusqu'aux interactions avec d'autres sciences.

Des laboratoires dans le secteur privé disposent également d'une expertise mathématique à finalité souvent plus applicative grâce aux profils de leurs ingénieures et ingénieurs. Ainsi, de grandes entreprises ou industries possèdent-elles

55. Voir la section 3.1 de ce rapport, consacrée aux disparités géographiques.

des centres de recherche et de développement où les mathématiques interviennent de façon essentielle sur des questions de modélisation et d'optimisation, comme Michelin, Thalès ou EDF, ou d'autres parmi celles réunies par exemple dans la fédération Syntec⁵⁶, réunissant plus de 3000 groupes et sociétés françaises spécialisées dans les professions du numérique, de l'ingénierie, du conseil, de l'événementiel et de la formation professionnelle. De grands établissements publics comme l'Insee ont également des départements recherche et développement. Il en va de même dans de nombreux établissements du secteur bancaire, de la finance et de l'assurance, intéressés par l'analyse des risques financiers ou le risque cyber. On peut également souligner, de manière factuelle, que l'investissement plus récent des grands groupes du numérique comme Huawei ou Google dans le secteur de l'intelligence artificielle (IA) s'est accompagné d'une montée en puissance de ces groupes dans le domaine de la recherche en mathématiques. De manière générale, le nombre de mathématiciennes et de mathématiciens ayant une activité de recherche dans les grands groupes comme dans les start-up est difficile à estimer.

2.1.2 QUI FAIT DE LA RECHERCHE EN MATHÉMATIQUES ?

Tableau 2

Effectif des laboratoires du corpus Hcéres⁵⁷

Permanents recherche	Doctorants	Autres non-permanents recherche ⁵⁸	Personnels d'appui
3831	2262	754	628

Une grande majorité des mathématiciennes et des mathématiciens du monde académique français ont le statut d'enseignant-chercheur en universités ou grandes écoles (dans les sections 25 et 26 du Conseil national des universités - CNU). À ceux-ci s'ajoutent des chercheuses et des chercheurs relevant de grands organismes de

56. <https://www.syntec.fr/>.

57. Données issues de l'analyse des documents d'autoévaluation des laboratoires du corpus Hcéres, vague 3, cf. Annexe D et E. Les personnels ni recherche ni appui ne sont pas mentionnés dans ce tableau. Sont comptabilisés les personnels d'appui permanents et non permanents.

58. Dont émérites, post-docs et ATER.

recherche tels que le CNRS, Inria, Inrae, l'Inserm, le CEA, l'Onera, l'IRD et certains personnels au statut particulier comme les ingénieurs du corps des Ponts, des Eaux et des Forêts, ainsi que l'ensemble des personnels non statutaires en doctorat et post-doctorat.

D'après les chiffres issus des évaluations des laboratoires de mathématiques du **corpus Hcéres**⁵⁹, on peut estimer la communauté académique exerçant sa recherche dans un laboratoire du corpus Hcéres à 6847 membres, dont 3831 chercheurs, chercheuses, enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs, 2262 doctorants et 754 autres personnels non permanents.

Par ailleurs, après consolidation des données auprès des acteurs institutionnels, le nombre de personnels permanents ayant une activité de recherche académique en mathématiques en France (dans ou hors d'un laboratoire de mathématiques) est en 2020 de 4233, ce qui est de l'ordre de grandeur des chiffres issus du corpus Hcéres de laboratoires⁶⁰, malgré des différences dans la méthodologie de comptage.

ensuite des personnels administrateurs et administratrices systèmes et réseaux (ASR) en charge des réseaux et matériels de laboratoires, et enfin des personnels ingénieurs statistique et calcul en appui de la recherche, qui parfois copublient avec les personnels de recherche. Bien sûr les mathématiciens et les mathématiciennes profitent également des compétences mutualisées des services de leurs tutelles et employeurs (organismes, universités, écoles, entreprises) concernant les gestions des ressources humaines, de la gestion financière et comptable intégrée, de la valorisation et du transfert par exemple.

2.1.3 LES RÉSEAUX DE LA RECHERCHE MATHÉMATIQUE

Les mathématiciennes et les mathématiciens déploient principalement leur activité au sein de deux types de réseaux. D'une part, **un réseau de proximité géographique** dont la cellule de base est l'équipe de recherche au sein d'un laboratoire. Ces laboratoires se réunissent au sein d'une des douze fédérations de recherche

Tableau 3

Nombre de personnels de recherche permanents par CNU ou organismes (sources: entretiens du comité, données institutionnelles et analyse du corpus Hcéres de laboratoires)

CNU 25 ⁶¹	CNU 26 ⁵⁹	CNRS (Insmi)	CEA ⁶²	Inria (Domaine MACS ⁶³)	Inrae (Dpt. MathNum)	Ifpen	Onera (Labo. de math. de l'Onera)	IRD	Autres	TOTAL
1260	1781	450	300	112	127	50	35	80	38	4233

Cette communauté académique de mathématiciennes et de mathématiciens bénéficie dans ses laboratoires d'environ 628 personnels d'appui à la recherche, ingénieurs et techniciens, permanents ou non permanents: d'une part, des personnels d'administration, gestion et comptabilité, en charge de la gestion des laboratoires et des projets, d'autre part, des personnels documentalistes et bibliothécaires,

59. cf. annexe D et E de ce document. Les laboratoires de mathématiques du corpus sont parfois multidisciplinaires et ne comprennent pas que des mathématiciennes et des mathématiciens. Réciproquement, tous les personnels ayant une activité de recherche ne sont pas répertoriés dans ce corpus de laboratoires où les mathématiques sont prédominantes. Des éléments de méthodologie de constitution du corpus sont donnés dans l'annexe. 60. Voir néanmoins l'analyse et le comparatif de ces chiffres de nature différente, ainsi que la méthodologie de constitution du corpus en annexe D.

61. Fiches démographiques 2020 des sections du CNU25 et CNU26.

62. Données CEA. Les personnels sont répartis dans les quatre directions opérationnelles de l'organisme: la Direction des applications militaires (DAM), la Direction des énergies (DES), la Direction de la recherche technologique (DRT) et la Direction de la recherche fondamentale (DRF).

63. Mathématiques appliquées, calcul et simulation.

Tableau 4

Le réseau thématique national

Un réseau Insmi de 44 UMR CNRS
47 équipes-projets Inria en mathématiques appliquées, calcul et simulation dans les 9 centres Inria
Un département MathNum Inrae de 11 laboratoires (unités mixtes et unités propres de recherche)
12 fédérations régionales labellisées CNRS pilotées par l'Insmi
12 labex régionaux ou à vocation nationale
29 GDR CNRS en mathématiques
Un réseau international de 10 IRL ⁶⁴ rattachés à l'Insmi

CNRS⁶⁵ pilotées par l'Insmi ou d'autres structures locales ou régionales, comme celles liées aux

64. *International research laboratories.*

65. Les tutelles de ces fédérations, outre le CNRS, sont souvent les universités hébergeant les laboratoires membres.

programmes PIA de type labex. D'autre part, des **réseaux thématiques nationaux** illustrés en particulier par les groupements de recherche du CNRS (GDR), certains réseaux méthodologiques de MathNum⁶⁶, ou encore les réseaux éphémères constitués dans le cadre des appels à projets (AAP) de l'ANR⁶⁷ qui regroupent au niveau national les mathématiciennes et les mathématiciens travaillant sur un domaine de recherche précis, éventuellement en interaction avec d'autres sciences.

Les fédérations et les structures régionales de recherche sont les interlocutrices naturelles des acteurs régionaux (collectivités, chambres de commerce et d'industrie, rectorats, etc.) en ce qui concerne les mathématiques et leurs interactions avec le tissu économique, social et culturel. Elles permettent à des laboratoires géographiquement proches de construire des projets en commun, en répondant à des appels d'offres régionaux, en mutualisant une offre de soutien aux entreprises, en proposant une animation scientifique et des actions de vulgarisation, ou encore en assurant un dialogue constant avec les rectorats.

Les fédérations de recherche reconnues par le CNRS permettent également aux équipes de taille modeste qui ne sont pas UMR⁶⁸ de nourrir un lien avec le CNRS et de bénéficier de ses structures d'appui et de l'offre de l'Insmi du CNRS (postes de chercheurs invités, délégations CNRS). La fédération de recherche mathématique des Pays de Loire (FMPL, Nantes, Angers, Le Mans) ou la fédération de recherche des unités de mathématiques de Marseille (Frumam, Marseille, Toulon, Avignon) sont des exemples typiques de ce type de partenariat régional fructueux.

Les réseaux thématiques, au premier titre desquels les 29 GDR⁶⁹ ou ceux soutenus par le département MathNum de l'Inrae (ainsi que les multiples projets, à durée limitée, soutenus par l'ANR), au fonctionnement très souple, ont un rôle essentiel d'animation et de transmission scientifique dans leur thématique, en organisant des séances de travail (séminaires, journées, workshops, etc.) ainsi que des écoles d'été à destination des jeunes chercheurs et chercheuses en mathématiques. Si les progrès en sciences expérimentales nécessitent la formation d'équipes locales structurées par projets autour d'une plateforme commune, l'expression collective de la création en mathématique est différente. Elle repose sur des collaborations plus souples, évoluant avec le temps et réunissant des scientifiques qui

peuvent être éloignés géographiquement. En mathématiques, le rôle des équipes et des laboratoires est donc prioritairement de fournir à chacun les meilleures conditions pour s'inscrire dans un projet scientifique en réseau dont les frontières ne se limitent pas à celle d'un laboratoire ni même d'un pays.

À ces réseaux disciplinaires s'ajoutent plusieurs **réseaux métiers** des personnels d'appui des laboratoires. Ainsi le réseau Mathrice, créé en 1999, réunit l'ensemble des ASR⁷⁰ des laboratoires, dans le but de favoriser les échanges de bonnes pratiques, de s'entraider, d'assurer la veille technologique et de proposer des actions de formation, par exemple au sein du groupe Calcul. Le réseau gère également la Plateforme en ligne pour les mathématiques⁷¹ (PLM), ressource mutualisée de services. Le Réseau national des bibliothèques de mathématiques⁷² (RNBM) réunit également les bibliothécaires et documentalistes et ses ressources sont disponibles pour les mathématiciennes et les mathématiciens, avec une gestion également assurée par Mathrice.

Enfin, plusieurs autres réseaux existent dans le paysage de la recherche en mathématique. Le réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques⁷³ (Irem) réunit un ensemble d'acteurs académiques et de l'enseignement secondaire. Le réseau Autour de la diffusion des mathématiques⁷⁴ (AuDiMath), la fondation Blaise Pascal et le fonds de dotation de l'Institut Henri Poincaré apportent leur soutien à tous les acteurs de la communauté universitaire investis dans le développement des activités de diffusion des mathématiques auprès des publics extra-universitaires. Enfin, l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société⁷⁵ (AMIES, décrite en section 2.4) environne le réseau MSO (modélisation, simulation, optimisation) et a vocation à coordonner les actions des laboratoires vers l'industrie, les services et les entreprises. Ces réseaux et leurs actions feront l'objet d'une description puis d'une analyse plus loin dans ce rapport⁷⁶.

Récemment, le paysage national a évolué avec l'apparition de nouvelles structures sur l'ensemble du territoire. La Fondation sciences mathématiques de Paris (FSMP) et la Fondation mathématique Jacques Hadamard (FMJH) jouent un rôle important de soutien à la recherche. Le Plan investissement d'avenir (PIA) a aussi permis la mise

66. <https://reseau-resste.mathnum.inrae.fr/>.

67. L'ANR a souligné lors des échanges que des collaborations se poursuivent au-delà des projets terminés.

68. Unité mixte de recherche.

69. Groupement de recherche du CNRS.

70. Administrateur systèmes et réseaux.

71. <https://portail.math.cnrs.fr>.

72. <https://www.rnbnm.org/>.

73. <https://www.univ-irem.fr/>.

74. <https://audimath.math.cnrs.fr/>.

75. <https://www.agence-maths-entreprises.fr/>.

76. Mathrice, Audimath et le RNBM ont la labellisation réseau thématique (RT) du CNRS sous pilotage de l'Insmi.

en place de plusieurs laboratoires d'excellence (labex⁷⁷) en mathématiques, mathématiques et informatique ou mathématiques et physique. Ils sont coordonnés par des établissements universitaires, à Paris et en province. Fondations et labex ont financé de nombreuses actions

Figure 7

Carte des labex (PIA2, 2010-2011) portés par les mathématiques



Source Insmi

pour une recherche de qualité (chaires, contrats doctoraux et post-doctoraux, bourses de master, etc.), organisé d'importants événements scientifiques (trimestres thématiques, congrès, etc.), participé à l'éclosion de nouveaux journaux et à la mise en ligne de films et de vidéos, et œuvré à la diffusion des mathématiques auprès du monde économique et du grand public. Dans plusieurs cas, les labex, fondations et fédérations se superposent, permettant aux structures de bénéficier de beaucoup de souplesse. C'est par exemple le cas de la fédération et du labex Bezout, de la FSMP qui portent le labex SMP et de la FMJH qui gère le labex Hadamard. Les inquiétudes sur l'avenir de certaines de ces structures, qu'elles soient ou non intégrées dans un idex, sont importantes et seront développées dans le chapitre 3 de ce rapport.

77. Voir la liste des labex en annexe E de ce rapport.

2.2 UN PILOTAGE PRÉCIS

2.2.1 LE RÔLE DE PILOTAGE NATIONAL DE L'INSMI DU CNRS

Le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche a confié à l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi) du CNRS, par arrêté en 2010⁷⁸, la mission d'animation et de coordination dans le domaine des mathématiques au niveau national.

L'action de l'Insmi s'appuie sur un réseau national ayant pour socle 44 UMR, dont la tutelle est assurée de façon « mixte » par le CNRS et différents établissements et organismes de l'enseignement supérieur et de la recherche. Ces UMR rassemblent les mathématiciennes et mathématiciens d'un pôle universitaire donné (citons, parmi les grosses unités, l'Institut de mathématiques de Toulouse avec 335 personnels, ou celui de Bordeaux avec 287 personnels), même si certains sites de taille importante disposent de plusieurs UMR de mathématiques (l'École polytechnique, Sorbonne Université et l'université Grenoble Alpes en particulier sont tutelles d'au moins deux laboratoires). De ce point de vue, les mathématiciennes et les mathématiciens ont été à l'avant-garde du regroupement en grandes unités, précédant parfois les fusions d'universités qui ont eu lieu dans les années 2000. Dans les centres universitaires de plus petites tailles, on trouve des UMR ou des unités de recherche propres aux universités de taille plus modeste mais offrant néanmoins une production de recherche de tout premier plan⁷⁹, comme le LAMA à Chambéry en équations aux dérivées partielles, le LMBA à Brest et à Vannes en théorie ergodique ou le MIA à La Rochelle avec des travaux en imagerie et en perception de la couleur très novateurs. Ces laboratoires peuvent être considérés comme des pépites, parfois sur un nombre de thématiques plus resserré.

Le CNRS et les universités ont noué de longue date un partenariat profond. En mathématiques, ce lien est particulièrement étroit et se double d'un dialogue fécond avec les autres acteurs institutionnels, en particulier l'Inria dont les équipes-projet sont souvent intégrées dans les UMR universitaires.

Par son pilotage scientifique, l'Insmi participe à l'organisation de la recherche mathématique en France en étant, avec ses partenaires, à l'initiative

78. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022447642/>.

79. Mention dans les rapports d'évaluation des laboratoires par le Hcéres vagues C2018 à B2022.

de créations et de renouvellements d'UMR ou de fédérations, mais aussi d'appels d'offres disciplinaires ou interdisciplinaires. Par les choix d'affectation de chercheurs et de chercheuses au sein des laboratoires, il conforte ou dynamise le développement de certaines thématiques. Il accompagne les mathématiciennes et les mathématiciens en les faisant bénéficier de services numériques et documentaires mutualisés au niveau national, dont en particulier ceux offerts par la PLM.

Si son budget propre est réduit (6,58 M€ en 2021 dont 150 k€ CPER⁸⁰), le rôle de l'Insmi du CNRS est central dans l'établissement de la politique scientifique nationale et des sites en mathématiques, la mise à disposition d'outils de recherche et de personnels de recherche ou d'appui. Il joue un rôle structurant au niveau national et local, grâce à l'accompagnement harmonisé qu'il offre aux directions des laboratoires et par son soutien aux fédérations et GDR CNRS. Il est un interlocuteur incontournable lors des discussions sur les mathématiques, en synergie avec les autres acteurs des mathématiques, organismes, écoles et universités.

2.2.2 UNE SYNERGIE ENTRE ACTEURS INSTITUTIONNELS

En matière d'effectifs, le premier acteur institutionnel de la recherche en mathématiques en France est constitué par l'ensemble des **universités** et des quatre écoles normales supérieures. En France métropolitaine et outre-mer, 57 universités sont chacune tutelles d'un des laboratoires de mathématiques du corpus Hcéres. Lors des entretiens⁸¹ menés dans le cadre de ce rapport, les universités ont réaffirmé l'importance de la recherche en mathématiques et leur volonté d'être partie prenante du pilotage local comme national de la recherche et de l'enseignement supérieur en mathématiques, dans le respect de leur autonomie, d'autant qu'elles partagent avec les organismes la tutelle des unités de grandes tailles, toutes des UMR.

Parmi les cinq domaines de recherches affichés par **Inria**, le domaine mathématiques appliquées, calcul et simulation comprend 47 équipes-projets (EP) sur les 220⁸² de l'établissement. Ces équipes sont pour la plupart intégrées à des UMR et bénéficient souvent de locaux au sein de l'un des neuf centres de recherche Inria ou de leurs antennes. Inria est un acteur essentiel⁸³ des mathématiques appliquées, avec un positionnement original puisque cet organisme

n'est en général pas tutelle des laboratoires de mathématique qui intègrent ses équipes-projet.

Au sein de son département MathNum, consacré aux sciences et technologies du numérique et de la modélisation de l'agriculture, des sciences du vivant, de l'environnement et de l'alimentation, l'Inrae déploie environ 200 permanents⁸⁴ dans ses onze laboratoires. Les problématiques liées à l'informatique et aux mathématiques dans les sciences du vivant et de l'environnement sont au centre de l'attention du département.

Les recherches en mathématiques, menées au **CEA** par environ 300 ingénieurs-chercheurs, sont transverses, de par la structuration de cet organisme autour de thématiques et d'enjeux plutôt que de disciplines⁸⁵. Ces thématiques vont de la recherche fondamentale aux applications technologiques, à la dissuasion et à l'énergie; les disciplines sous-jacentes incluent la physique, l'informatique, les sciences du vivant et de la santé. L'expertise du CEA en simulation et modélisation, s'appuyant sur ses moyens de calcul exceptionnels hébergés dans le Très grand centre de calcul (TGCC), en fait un acteur majeur.

Les **écoles d'ingénieurs** sont également très investies dans les laboratoires de mathématiques, avec 35 écoles tutelles ou partenaires privilégiés d'un laboratoire de mathématiques du corpus⁸⁶. Si leur préoccupation principale est d'assurer la formation des scientifiques nécessaires aux entreprises⁸⁷, elles ont un regard attentif sur la recherche, ainsi que sur les évolutions potentielles des débouchés du doctorat.

D'autres acteurs institutionnels interviennent en recrutant des mathématiciennes et des mathématiciens, comme **l'Inserm, l'Iffstar⁸⁸, l'Onera, l'IRD ou l'Ifpen⁸⁹**. En particulier l'Onera a pris acte de la mutation des mathématiques en interaction, développée au chapitre 1 de ce document, et a créé en 2019 un laboratoire de mathématiques dont le but est de « fédérer les mathématiciens et coordonner le développement des grands logiciels »⁹⁰. L'IRD, au sein essentiellement de son laboratoire international pluridisciplinaire UMMISCO⁹¹ basé à Sorbonne Université, est acteur des mathématiques en interactions. L'Ifpen dispose

84. Dont 127 personnels de recherche comptabilisés dans les laboratoires du corpus de la SNM, annexe D.

85. Voir la publication Clefs CEA, numéro 70 de mars 2020, pour une description de l'activité en mathématiques au CEA.

86. Liste en annexe E de ce rapport.

87. Entretien avec la Cdefi, Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs.

88. L'Iffstar est devenu l'université Gustave Eiffel depuis 2020.

89. IFP Énergies nouvelles.

90. Entretien avec l'Onera.

91. Unité de modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes.

80. Contrats de plan État-région.

81. Avec Udice et avec France Universités.

82. Données 2022.

83. Cf. rapport Hcéres Inria.

également d'une cinquantaine d'ingénieures, ingénieurs, chercheuses et chercheurs spécialisés en mathématiques, recrutés au niveau doctorat, qui travaillent sur les thématiques de l'énergie, du transport et de l'environnement.

2.2.3 TROIS SOCIÉTÉS SAVANTES ET UN NOMBRE RESSERRÉ DE COMITÉS, DE CONSEILS ET D'INSTANCES

La communauté mathématique française s'appuie sur **trois sociétés savantes** pour dialoguer avec le monde politique et la société: la Société française de statistique (SFdS), la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI) et la Société mathématique de France (SMF). Ces trois sociétés mathématiques ont des liens étroits avec les autres sociétés savantes nationales et internationales et veillent sur les intérêts ou sur la promotion des mathématiques françaises. Elles jouent un rôle important pour faire entendre la voix de la communauté mathématique auprès des pouvoirs publics et promouvoir ses actions en direction de la société et de l'industrie. Également outils d'intégration des plus jeunes dans la communauté, elles renforcent ainsi le sentiment d'appartenance des mathématiciennes et des mathématiciens français à leur discipline, indépendamment de leur lieu d'exercice ou de leur origine professionnelle. Elles ont aussi une activité éditoriale importante en publiant des monographies et plusieurs journaux de portée internationale. Elles s'investissent enfin fortement dans le CIMPA⁹², entité qui s'attache à promouvoir la recherche en mathématiques dans les pays en voie de développement et qui sera présentée plus loin.

La communauté mathématique française s'appuie également sur plusieurs structures institutionnelles. D'une part, les sections 25 et 26 du CNU, constituées de personnels élus et nommés, sont les deux seules sections du CNU concernant les mathématiques. Au sein du CNRS, la section 41 du comité national joue son rôle de conseil à l'organisme pour la politique scientifique. Il participe également au recrutement et au suivi de la carrière des chercheurs et chercheuses et au suivi de l'activité des unités de recherche. Le Conseil scientifique de l'Insmi établit également des rapports de prospective et de recommandations à la communauté et à l'Insmi, dépassant souvent la seule vision interne de l'organisme. L'Inrae dispose d'une commission scientifique spécialisée (CSS) pour le suivi de la carrière de ses chercheurs et chercheuses en mathématiques appliquées (CSS Mathématique, Informatique, Sciences et Technologies du numérique, Intelligence artificielle et robotique)

92. Centre international de mathématiques pures et appliquées.

L'Académie des sciences, enfin, joue un rôle majeur par ses attributions de prix prestigieux, par ses prises de positions ainsi que par son activité éditoriale.

Ce nombre limité de sociétés savantes, d'instances et de conseils consacrés à la discipline renforce le sentiment d'appartenance à une communauté mathématique structurée.

2.3 BONNES PRATIQUES ET OUTILS EFFICACES

2.3.1 BONNES PRATIQUES

Les missions des mathématiciennes et des mathématiciens travaillant dans le milieu académique sont multiples. Elles consistent d'abord en la production de connaissances nouvelles, concrétisée par la publication d'articles, de livres ou de brevets, le développement de logiciels, la réalisation d'études, la valorisation ou les activités de diffusion et de médiation. Ces missions comprennent également le pilotage de structures, d'équipes, de réseaux ou de projets ainsi que l'enseignement et sa gestion pour ceux employés par les écoles ou les universités. Pour ces derniers, un système de délégations dans les organismes et de congé pour recherches ou conversions thématiques (CRCT) permet aux bénéficiaires, durant une période variant d'un à deux semestres, d'intensifier leur activité de recherche et leur implication dans la vie de la communauté, ou encore d'effectuer des échanges internationaux.

Les mathématiciennes et les mathématiciens bénéficient, pour effectuer leur recherche, d'outils intégrés nationaux, développés dans le cadre des réseaux métiers évoqués dans la section 2.1.3. Ils profitent ainsi de ressources informatiques mutualisées et de ressources documentaires, grâce à la plateforme PLM présentée dans la section 2.1.3; ils profitent également d'un réseau d'échange et de partage d'expériences sur la diffusion des mathématiques (AuDiMath⁹³) et de l'agence AMIES dont il sera plus longuement question en section 2.4, pour l'interface entre la recherche mathématique et les entreprises.

Les mathématiciennes et les mathématiciens, avec le soutien des sociétés savantes, ont mis en place dès 1998 le site Opération Postes⁹⁴

93. <https://audimath.math.cnrs.fr>.

94. <http://postes.smai.emath.fr/>, ce site bénévole bénéficie du soutien de la SMAI (qui a permis son lancement en 1998 et en héberge le site) et également de la SMF, de la SFdS, de la Société informatique de France (SIF), ainsi que de l'Association pour la recherche en didactique des mathématiques (ARDM).

dont la mission est d'assurer la publicité et de communiquer sur les postes ouverts au recrutement dans l'enseignement supérieur en mathématiques (rejoints plus tard par l'informatique). Ce site permet aux jeunes docteurs en mathématiques de se projeter malgré la multiplicité des postes ouverts dans les universités, les organismes ou les écoles, diversité qui s'est encore accentuée récemment avec la mise en place de chaires dans les organismes ou les universités.

La communauté mathématique française s'investit aussi fortement dans les questions d'accès aux ressources documentaires et leur gestion, afin de fluidifier le partage des fruits de la recherche. La préconisation nationale est d'utiliser prioritairement le service de dépôt de prépublications en ligne HaL⁹⁵, ce qui permet une mise à disposition immédiate des travaux de recherche les plus récents. Le RNBM⁹⁶ assure la triple mission de garantir l'accès, la qualité, la pérennité et la spécificité de la documentation mathématique, de renforcer les relations entre les bibliothèques du réseau ainsi qu'entre les bibliothécaires ou les documentalistes et les mathématiciens. Par la négociation et la gestion d'abonnements nationaux, le RNBM participe au contrôle des dépenses dans l'esprit de mutualisation qui prévaut dans la communauté mathématique.

Le travail du RNBM s'inscrit aussi dans l'esprit du modèle de la science ouverte⁹⁷, promu en France par l'Académie des sciences, concernant l'édition scientifique. Parmi les acteurs de l'édition en mathématique, on trouve des éditeurs commerciaux qui vendent leurs revues et font payer aux auteurs la mise en accès ouvert des publications, des éditeurs liés aux sociétés savantes qui utilisent souvent le système « Subscribe to Open »⁹⁸ et réinvestissent leurs bénéfices dans les activités de leur société, et donc au profit de la communauté, et enfin des revues en libre accès, gérées par des universités ou grandes écoles qui financent les coûts de production de ces revues et en offrent l'accès gratuit aux auteurs et aux lecteurs.

Dans ce cadre, **la cellule Mathdoc** est un outil essentiel. Sous tutelle du CNRS et de l'université Grenoble Alpes, Mathdoc a une double mission : d'une part, le projet Numdam assure la numérisation et la préservation des ressources importantes pour la recherche mathématique,

qu'il s'agisse de sources anciennes ou de travaux récents, d'autre part, le projet **Mersenne** développe et gère une plateforme d'édition. Cette plateforme, qui a été créée en 2015 dans l'objectif de faire passer en « open access Diamant »⁹⁹ les revues mathématiques académiques françaises soutenues par le CNRS et Mersenne, compte aujourd'hui 14 revues de mathématiques. Les inquiétudes liées à l'avenir et au dimensionnement de Mersenne, ainsi que celles liées à l'édition libre, seront détaillées dans la section 3.2.

Il faut aussi évoquer le programme des archives partagées pour un accès pérenne et libre de droits aux ressources documentaires non virtuelles (articles, livres, documents) mené par le RNBM avec un rôle tout particulier des bibliothèques Jacques Hadamard, Joseph Fourier, de l'IHP¹⁰⁰ et du CIRM. L'ensemble des bibliothèques de mathématiques du réseau RNBM est mis à contribution et une coordination poussée des bibliothécaires est nécessaire pour mener à bien cette mission cruciale pour la conservation et l'avenir de la diffusion des savoirs.

2.3.2 RECHERCHE EN MOUVEMENT ET GRANDS CENTRES DE CONFÉRENCES

De nombreux mathématiciens et mathématiciennes du monde entier sont accueillis en France, dans le cadre de séminaires dans les laboratoires, de conférences thématiques, ou en tant que chercheurs invités pour collaborer avec des collègues français. Des conférences généralistes (organisées par les sociétés savantes, les réseaux de type labex ou fédérations par exemple) ou thématiques (dans le cadre de projets de recherche ou de GDR) sont organisées de manière ponctuelle ou récurrente.

Pour répondre en partie à cette pratique très soutenue en matière d'invitations, de séjours et de conférences, les trois grands centres de conférence et d'accueil IHP, IHES et CIRM jouent un rôle central. Au lendemain de la Première Guerre mondiale¹⁰¹, sous l'impulsion d'Émile Borel et de George Birkhoff, s'est d'abord imposé la création d'un centre de cours et d'échanges internationaux en mathématiques et physique théorique à Paris. L'**Institut Henri Poincaré** (IHP) a ainsi été inauguré en 1928¹⁰². Trente ans

95. <https://hal.archives-ouvertes.fr/>.

96. Présenté en section 2.1.3 sur les réseaux métiers.

97. https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/22_01_27_science_ouverte.pdf.

98. Dans ce système STO, une fois qu'une revue a trouvé un nombre suffisant d'abonnés pour couvrir les frais d'édition et une certaine marge bénéficiaire, la revue passe en accès libre.

99. Le système open access diamant ouvre aux lecteurs et lectrices un accès gratuit aux publications sans que les auteurs ne payent pour publier (contrairement à l'open access Gold).

100. Voir la section suivante pour la présentation des grands centres dont l'IHP et le CIRM.

101. Voir également l'aperçu historique en section 1.1.

102. Voir également la mise en contexte historique présentée en début de chapitre 1.

plus tard, en 1958, l'**Institut des hautes études scientifiques** (IHES) a vu le jour, offrant « une liberté totale de recherche pour des chercheurs exceptionnels »¹⁰³, suivi en 1981 par le **Centre international de rencontres mathématiques** (CIRM) à Marseille. Ces centres de conférences, de renommée internationale, chacun avec sa spécificité, sont des éléments essentiels du réseau des mathématiques françaises.

Le CIRM, situé sur le campus de Luminy à Marseille, organise chaque année plus de 90 conférences, écoles et ateliers d'une semaine environ. Sous tutelle du CNRS, d'Aix-Marseille Université et de la SMF, le CIRM offre une capacité de séjour en résidence. Son extension récente, financée en partie avec une importante aide directe de l'État et de la région PACA¹⁰⁴, s'est traduite par une forte augmentation de sa fréquentation, passée en 2 ans de 3 500 à 4 700 séjours (données 2019), démonstration éclatante de l'attrait de ce centre pour les mathématiciennes et les mathématiciens du monde entier.

Figure 8

l'IHP



Crédit Antoine Taveneaux - CC BY-SA 3.0

L'IHP¹⁰⁵, situé au cœur de Paris, accueille des trimestres thématiques de recherche de très haut niveau en mathématiques et physique

103. <https://www.ihes.fr/institut/>.

104. L'Etat a contribué à hauteur de 1 M€ plus 300 k€ d'équipements, et la région PACA à hauteur de 1 M€. Source: direction du CIRM.

105. L'IHP a le statut d'Unité d'appui à la recherche (UAR) de l'Insmi et d'école interne de Sorbonne Université; le CIRM a pour tutelles le CNRS, la SMF et Aix-Marseille Université. L'IHES a le statut de fondation reconnue d'utilité publique depuis 1981.

Figure 9

Le CIRM



Source <https://www.fr-cirm-math.fr/>

théorique. Il héberge plusieurs séminaires réguliers ainsi que les rouages de la communauté mathématique française que sont les sociétés savantes, diverses associations et organisations professionnelles, ainsi qu'un bureau pour les membres de l'Académie des sciences. Considéré pour cette raison comme la « Maison des Mathématiques », l'IHP joue également un rôle dans la médiation scientifique avec son espace muséal des mathématiques bientôt ouvert au grand public.

L'IHES est localisé à Bures-sur-Yvette et intégré au campus Paris-Saclay: il est à la fois un centre de recherche en mathématiques et physique théorique (avec un laboratoire associé au CNRS), et un centre de rencontres. Lieu de prestige avec une liste de professeurs permanents dont l'influence et la liste des honneurs scientifiques (Médailles Fields, Prix Abel) font la renommée, son fonctionnement s'inspire de celui de l'Institute for Advanced Studies à Princeton. L'IHES organise des conférences et dispose d'une large capacité d'invitations de moyenne durée connue dans le monde entier. À l'instar du CIRM, l'IHES possède une capacité d'accueil résidentiel.

Ces trois structures d'accueil d'événements scientifiques jouent un rôle important d'incubateur des mathématiques, par leur action de diffusion de la connaissance et d'animation de la communauté. Elles contribuent de façon majeure à la visibilité et au rayonnement des mathématiques françaises à l'international. Depuis quelques années, ces trois institutions s'investissent dans des activités à destination du grand public (par exemple, au CIRM, les Cigales¹⁰⁶ accueillent chaque semestre des lycéennes pour une semaine de sport et de mathématiques).

106. <https://www.fr-cirm-math.fr/lescigales.html>. Voir également la Figure 34 page 63.

Plusieurs autres structures sont enfin utilisées de manière récurrente par les mathématiciennes et les mathématiciens pour l'organisation de colloques, conférences et écoles d'été: il s'agit entre autres de l'IESC à Cargèse (Corse), de la station biologique de Roscoff, du centre Paul Langevin du CNRS à Aussois, du Centre Igesa de Porquerolles et de l'Institut Pascal (Ipa) ouvert récemment à Orsay sous l'égide du CEA, du CNRS, d'Inria, de l'IHES et de l'Université Paris-Saclay.

2.4 UN IMPACT ÉCONOMIQUE MAJEUR

Comme mentionné en préambule de ce rapport, les mathématiques sont partout et essentielles. L'impact socio-économique des mathématiques en France a fait l'objet d'un premier rapport¹⁰⁷ réalisé en 2015 par le cabinet de conseil CMI, à la demande de la communauté mathématique française. Ce rapport mettait déjà en avant un très fort impact des mathématiques pour la compétitivité et la croissance de l'économie française.

Ce constat a été réaffirmé par la récente mise à jour de cette étude sur l'impact économique des mathématiques en France¹⁰⁸, publiée en 2022 dans le cadre de la préparation des Assises des Mathématiques. Dans cette étude, la contribution des mathématiques à la création de valeur ajoutée est estimée à 17,6 % en 2019, en progression de 1,8 points depuis 2012, avec 13 % des emplois impactés par les mathématiques en France (3,3 millions d'emplois et une progression de 1 % depuis 2012). Cette analyse est confirmée par la publication Focus du Conseil d'analyse économique (CAE) de septembre 2022, qui étudie le lien entre le niveau de compétence en mathématiques et la productivité du travail.

Cet impact est majeur et sa progression explique que les besoins en jeunes diplômés en mathématiques se sont considérablement accrus ces dernières années¹⁰⁹ avec, d'une part, l'explosion de jeunes entreprises innovantes faisant appel à des compétences en science des données au sens large et, d'autre part, l'investissement massif de grands groupes du numérique, dans la recherche, en particulier en IA et en apprentissage machine. Ainsi, les filières de master liées à la cryptographie par exemple (comme à Rennes où deux cursus, l'un en mathématiques fondamentales et l'autre en informatique, sont proposés, ou à Limoges,

Bordeaux, Grenoble ou Versailles, qui dispensent des parcours mixtes¹¹⁰) permettent d'intégrer de nombreux emplois dans ces groupes du numérique.

C'est dans ce paysage complexe et en évolution rapide, que l'**Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (AMIES)**¹¹¹ a été créée en 2011. Cette agence, pilotée par le CNRS, l'université Grenoble Alpes et l'Inria, mène des actions structurantes en s'appuyant sur un réseau de correspondantes et de correspondants dans les laboratoires de mathématiques ainsi que dans les treize Maisons de la simulation et de l'optimisation (MSO) du territoire. Pensée comme un outil pour promouvoir les interactions entre les mathématiques, le monde de l'entreprise, les professionnels et les étudiants, AMIES s'est progressivement imposée comme l'un des acteurs essentiels de l'organisation en réseau des mathématiques françaises. Outre un travail important d'animation de la communauté mathématique, l'agence se distingue surtout par des actions structurantes aux échelles locales et régionales. Elle finance ainsi des PEPS (projets exploratoires premier soutien) qui soutiennent d'une manière simple et flexible les projets de collaboration mathématiques-industrie (depuis 2011, plus de 150 PEPS ont été signés avec environ 130 entreprises différentes, dont près des trois-quarts sont des PME ou des micro-entreprises). Il est à noter que certains de ces PEPS ont permis récemment de financer une dizaine de contrats post-doctoraux orientés vers l'entreprise suivant un modèle très intéressant et original¹¹². Elle coordonne également les Semaines d'étude math-entreprises (SEME) qui donnent aux entreprises la possibilité de tester les bénéfices des mathématiques sur une question traitée durant une semaine par des doctorants et des doctorantes. Elle attribue chaque année un prix de thèse mettant en valeur les collaborations mathématiques et entreprises. Elle organise chaque année, en partenariat avec la SFdS et la SMAI, le Forum emploi maths (FEM), unique salon en France permettant aux entreprises de rencontrer les étudiantes et les étudiants jeunes diplômés en mathématiques. Au niveau international, AMIES est membre fondateur du réseau européen European Service Network of Mathematics for Industry and Innovation (Eu-Maths-In) et y représente la France. Le rôle de ce réseau européen est de coordonner et de faciliter les échanges dans le domaine des mathématiques appliquées et de leur exploitation dans l'innovation industrielle. AMIES est financée

107. <https://www.agence-maths-entreprises.fr/public/pages/actualites/fait-marquant/fm-106.html>.

108. https://www.insmi.cnrs.fr/sites/institut_insmi/files/download-file/Etude_impact_economique_mathematiques.pdf.

109. Voir Section 3.4 de ce rapport.

110. À noter que la visibilité de ces formations a été fragilisée par la modification de la nomenclature des masters par le ministère en 2014, et la disparition des mentions Mathématiques-Informatique.

111. <https://www.agence-maths-entreprises.fr/public/pages/index.html>.

112. Cette initiative sera analysée en sections 3.4 et 3.5.

par le plan d'investissement d'avenir en tant que labex, et pérennisé au sein de l'idex UGA, avec le soutien du CNRS, de l'université Grenoble Alpes et d'Inria. Son budget (non consolidé) annuel s'élève à 710 k€ par an. À ce soutien du labex s'ajoute un appui de l'Insmi qui affecte des personnels administratifs et des ingénieurs.

Conçu pour renforcer les coopérations public-privé en R&D et favoriser l'emploi des docteurs, le dispositif de recherche partenariale dit **Cifre** (Conventions industrielles de formation par la recherche, gérées par l'ANRT¹¹³) permet aux entreprises de bénéficier d'une aide financière pour recruter une doctorante ou un doctorant dont les travaux de recherche, encadrés par un laboratoire public de recherche, conduiront à la soutenance d'une thèse. Depuis sa création en 1981, ce dispositif s'est installé dans le paysage de la formation doctorale en sciences et notamment en mathématiques (avec 6 % des dispositifs Cifre). Avec la loi de programmation de la recherche, il prendra de l'ampleur pour atteindre 2150 Cifre par an (toutes disciplines confondues) en 2027, contre 1500 en 2020¹¹⁴. Cependant, en raison de sa structuration particulière, ce système ne couvre pas et ne peut couvrir l'ensemble des besoins des entreprises et des profils de jeunes docteurs en mathématiques qui pourraient se diriger vers le monde de l'entreprise; ce point et plus généralement le problème de l'adéquation entre les besoins du monde économique, de la société et l'offre en début d'une carrière de mathématicien ou de mathématicienne sera développé dans le chapitre 3.

Enfin, l'impact économique des mathématiques en France est également lié à l'existence même de corps de métiers liés aux mathématiques, en enseignement à tous niveaux et en recherche. Ce total représente, en 2019, 6 % des 3,3 millions d'emplois directement impactés par les mathématiques¹¹⁵.

L'impact des mathématiques en France est donc majeur et constitue un atout maître dans un monde ultra-numérisé où les connaissances et les compétences de haut niveau en mathématiques permettent de se classer au plus haut dans le concert des nations. La France se situe au premier plan international en mathématiques y compris dans l'utilisation qu'en fait l'économie: même si des données aussi détaillées manquent pour les autres pays, mentionnons par exemple qu'en Espagne la part des mathématiques dans la valeur ajoutée est seulement de 10 % en

2016 (contre 15 % en France en 2012) de 16 % au Royaume-Uni en 2010 et 13 % aux Pays-Bas en 2011¹¹⁶.

2.5 UNE COMMUNAUTÉ À L'ÉCOUTE DES ENJEUX SOCIÉTAUX

2.5.1 UNE COMMUNAUTÉ INVESTIE DANS LA FORMATION

Schématiquement, l'enseignement supérieur en mathématiques s'adresse actuellement à cinq types de public :

- les futurs mathématiciens et mathématiciennes, qui prendront la relève de la génération actuelle à l'université, dans les grands organismes de recherche et dans les entreprises;
- les futurs professeurs de mathématiques dans le secondaire;
- les futurs « utilisateurs » de mathématiques, techniciens supérieurs, ingénieurs, actuaire, etc.;
- les scientifiques dont les mathématiques ne seront pas le cœur de métier, mais pour lesquels le raisonnement associé aux mathématiques et à la statistique est néanmoins essentiel (dont physique, biologie, écologie, agronomie, chimie, médecine, économie, etc.);
- des professionnels de toutes branches (enseignement et industrie) formés au titre de la formation tout au long de la vie (formation continue assurée par les universités, le CNRS, etc.).

L'objet du présent rapport n'est pas de faire une étude critique de l'ensemble de la filière enseignement des mathématiques, sur laquelle se penche par exemple le rapport Torossian-Villani¹¹⁷, avec 21 mesures spécifiques proposées. Les questions liées à la baisse du niveau des élèves du primaire et du secondaire font l'objet d'une prise de conscience aiguë de la part de la communauté mathématique et sont présentées en section 3.7. Concernant en particulier la formation continue des enseignants, les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques (**Irem**)¹¹⁸

116. Chiffres repris du rapport sur l'impact économique des mathématiques, Assises des mathématiques (ibidem), issus des études suivantes: Deloitte, *Measuring the economic benefit of mathematical science research in the UK, 2012*; Deloitte, *Mathematical sciences and their value for the Dutch economy, 2014*; Red Estretegica en Matemáticas, *Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España, 2019*.

117. <https://www.education.gouv.fr/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques-3242>.

118. <https://www.univ-irem.fr>.

113. Association nationale de la recherche et de la technologie, <https://www.anrt.asso.fr/fr>.

114. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid22130/les-cifre.html>.

115. Les assises des mathématiques, étude de l'impact économique 2022, ibidem.

coordonnés par l'Adirem¹¹⁹) ont un rôle majeur comme souligné par le rapport Torossian-Villani¹²⁰. Les enseignantes-chercheuses et les enseignants-chercheurs en mathématiques sont très investis dans cette responsabilité, en particulier dans les Inspé (Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation).

Concernant l'enseignement supérieur, l'étude réalisée en 2015 sur l'impact socio-économique des mathématiques¹²⁰ mentionne que « 25 % des effectifs étudiants de niveau Bac+2 à Bac+8 sont formés en ou par les mathématiques ». Transmettre son savoir est une part importante du métier d'enseignant-chercheur et d'enseignante-chercheuse (l'enseignement représente 50 % de la charge de travail des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs, les 50 % restant sont consacrés à la recherche). Les personnels des organismes, même s'ils n'ont pas de charge d'enseignement obligatoire, sont également souvent investis, donnant en particulier des cours de master orientés recherche et applications ou encadrant des stages.

L'ensemble des mathématiciennes et des mathématiciens habilités à diriger des recherches (HDR), parfois en coencadrement avec de plus jeunes collègues non habilités, assure également la direction des 2262 doctorantes et doctorants en mathématiques dans les laboratoires du corpus Hcéres.

Tableau 5

Quelques chiffres clés sur le doctorat

2262 doctorantes et doctorants en mathématiques dans les laboratoires du corpus Hcéres¹²¹

La durée moyenne de la thèse est de **3 ans et 9 mois**¹²²

98 % des doctorantes et doctorants disposent d'un financement pour leur thèse¹²³

15 % des doctorantes et doctorants ont un dispositif Cifre.

Le devenir des docteurs en mathématiques est par ailleurs remarquable, avec un taux d'insertion de 95,9 % dans le monde du travail 3 ans après l'obtention du doctorat en 2014 contre 92,8 % toutes disciplines confondues¹²⁴. Cette très forte

119. Association des directeurs des Irem.

120. https://www.agence-maths-entreprises.fr/public/docs/faits-marquants/eisem/20150527_Etude_de_l_Impact_SocioEconomique_des_Mathematiques_en_France_rapport_v3.4.pdf.

121. Données issues de l'analyse du corpus Hcéres de laboratoires, vague 3 (nombre cumulé sur les évaluations annuelles ayant eu lieu entre 2018 et 2022), cf. annexe D et E.

122. Calculé à partir des chiffres Hcéres de la période d'analyse (environ 50 % du vivier).

123. *L'état de l'emploi Scientifique en France*, page 61. MESR,

2021. Chiffres sur les doctorantes et doctorants inscrits en première année de thèse en 2018-2019.

124. Note d'information du SIES 21-09 MESR.

attractivité des docteurs en mathématiques et les besoins qu'elle révèle seront abondamment étudiés au chapitre 3 de ce rapport. Il faut néanmoins nuancer ce constat car le profil des emplois occupés par les docteurs et docteurs n'est pas indiqué.

2.5.2 UNE COMMUNAUTÉ PROACTIVE SUR LES DÉFIS D'ACTUALITÉ

Comme on l'a vu au chapitre 1, les mathématiques, langage universel des sciences sont en interaction constante avec les autres sciences, et investissent en particulier le champ des grands enjeux sociétaux. Ce n'est donc pas un hasard si, lors de sa création en 2009, l'institut du CNRS consacré aux sciences mathématiques et de leurs interactions. Il s'agissait alors d'un choix résolu de positionner la discipline aux interfaces, qui se manifeste aujourd'hui par la présence de mathématiciennes et de mathématiciens dans des laboratoires d'autres disciplines, mais aussi par des Groupes de recherche (GDR) alliant les mathématiques à des domaines de recherche différents: citons, par exemple, le GDR de dynamique quantique, qui réunit mathématiques et physique, le GDR IM¹²⁵ à l'interface entre mathématiques et informatique, ou encore les GDR MathSAV et « Statistique et santé » à l'interface mathématiques, santé, sciences de la vie.

Trois exemples de structures récentes, liées à des problématiques sociétales aiguës et déjà mentionnées dans la section 1.2.6, sont particulièrement emblématiques:

- l'Institut des mathématiques de la planète terre¹²⁶ (IMPT), véritable institut « hors-les-murs », créé en 2021 par le CNRS sous la forme administrative d'un Groupement d'intérêt scientifique (Cis);
- le projet de PEPR en cours sur les mathématiques du vivant dans le cadre de l'appel d'offre PIA 4;
- la plateforme MODCOV19 créée au printemps 2020 avec l'appui du CNRS.

Les mathématiciennes et les mathématiciens, parfois en créant des structures ou des réseaux, apportent ainsi leur contribution sur des sujets sociétaux essentiels, comme la modélisation du climat, l'analyse des écosystèmes ou la création d'algorithmes de décision en médecine personnalisée.

125. Ce GDR est porté, au sein du CNRS, par l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (Ins2i).

126. <https://impt.math.cnrs.fr/>.

Les mathématiciennes et les mathématiciens sont également actifs sur la défense des droits humains, comme dans le cas des affaires Audin¹²⁷ et Ibni¹²⁸ ou de l'emprisonnement en 2019 du mathématicien Turc Tuna Altinel¹²⁹.

2.5.3 UNE COMMUNAUTÉ INVESTIE À L'INTERNATIONAL

Dans un contexte de collaborations et de concurrence internationales croissantes, qui seront chiffrées dans la prochaine section, la France est très impliquée dans des actions structurantes à l'international.

La communauté mathématique s'investit ainsi fortement dans le **Centre international de mathématiques pures et appliquées (CIMPA)**. Ce centre promeut la recherche en mathématiques dans les pays en développement en organisant dans ces pays des cours et des écoles de recherche, et en finançant la participation de jeunes mathématiciennes et mathématiciens à ces programmes thématiques internationaux. Association relevant de la loi de 1901, le CIMPA est un centre de l'UNESCO basé à Nice, et financé par l'Espagne, la France, la Norvège et la Suisse.

Le réseau des *International Research Laboratories* (IRL, ex-UMI du CNRS) offre des possibilités de travail privilégiées à l'étranger, à destination en particulier des mathématiciennes et des mathématiciens français. Dans le cadre de délégations, l'accueil dans l'un des 10 IRL¹³⁰ pilotés par l'Insmi permet aux enseignantes-chercheuses et aux enseignants-chercheurs de démarrer de nouvelles collaborations ou de faire fructifier des liens plus anciens dans des conditions optimales. L'Inria a de même ouvert un centre au Chili en 2012. L'Institut de recherche pour le développement (IRD), au travers de l'unité UMMISCO, s'investit aussi clairement dans cette politique, ce qui a été confirmé au comité lors de l'entretien avec l'organisme.

Historiquement, des relations particulières ont été nouées avec plusieurs pays d'Europe ou

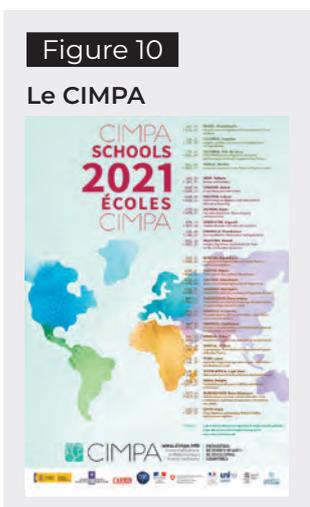
du monde. Les relations spécifiques avec la Roumanie par exemple, pays avec lequel les échanges sont nombreux (un colloque franco-roumain est organisé tous les deux ans), se traduisent par un taux élevé d'affinité¹³¹ dans les copublications d'environ 2. Le taux d'affinité est également supérieur à 1,5 avec plusieurs pays francophones (Suisse, Belgique), certains pays proches et ayant eu peu de recrutements comme récemment l'Italie, ou avec des pays de l'Europe centrale comme la Pologne, la Tchéquie, la Russie pour lesquels la France a été un pays d'accueil et avec lesquels les relations sont encore fortes. Dans le même esprit, le prix Audin est décerné, chaque année depuis 2004, conjointement à un mathématicien ou une mathématicienne, de nationalité algérienne, d'une part, et française, d'autre part, exerçant leur activité dans leur pays.

Enfin, des actions ponctuelles à l'international ont lieu, comme celle concernant l'accueil environné d'étudiantes et d'étudiants ukrainiens en 2022, sous l'égide de la FSMP et de la FMJH. L'Insmi du CNRS assure par ailleurs la veille proactive et la publicité de tout un ensemble de programmes internationaux.

2.5.4 UNE COMMUNAUTÉ IMPLIQUÉE DANS LE PARTAGE DES CONNAISSANCES

Pour soutenir les actions de médiation et la création de contenus en mathématiques et informatique, le CNRS, l'Inria et l'université de Lyon ont créé en 2016 la fondation Blaise Pascal¹³². Celle-ci collecte des fonds qu'elle redistribue, par des appels à projet, aux associations visant à promouvoir les mathématiques auprès des jeunes et du grand public. Elle a pour mission d'intervenir dès l'école et tout au long de la vie pour agir en faveur de l'inclusion sociale, territoriale et de genre par les sciences, pour former à la démarche scientifique dès l'école (et en dehors de l'école), pour mener des actions de médiation sur l'ensemble du territoire et sensibiliser au numérique responsable et éthique. En 2016, le CNRS, Sorbonne Université et les sociétés savantes de mathématique ont également créé le fonds de dotation de l'IHP¹³³ qui contribue au financement de certains projets de l'IHP (notamment autour de la Maison Poincaré) et de ses partenaires.

Les acteurs de la popularisation des mathématiques sont multiples. Au niveau national, on trouve des associations agissant en



127. https://fr.wikipedia.org/wiki/Maurice_Audin.

128. https://fr.wikipedia.org/wiki/Ibni_Oumar_Mahamat_Saleh.

129. https://fr.wikipedia.org/wiki/Tuna_Altinel.

130. À noter que la première UMI du CNRS (ancien nom des IRL) a été une UMI de mathématiques (Chili).

131. Voir le Vol. 3 SNM OST, consacré à l'analyse

bibliométrique, pour la définition de cet indicateur d'affinité.

132. <https://www.fondation-blaise-pascal.org/>.

133. <https://www.fonds-ihp.org/>.

Figure 11

Logo de la fondation Blaise Pascal



milieu éducatif: Animath¹³⁴, Maths en Jeans¹³⁵, Maths en Scène¹³⁶, etc. Les sociétés savantes de mathématiques (SFdS, SMAI et SMF) sont elles aussi très actives. Par ailleurs, les grandes institutions d'accueil de conférences (CIRM, IHES, et IHP) ont également développé une offre en médiation scientifique autour des mathématiques. Le site PIXEES¹³⁷ de Inria¹³⁸ met à disposition des ressources en ligne orientées vers les sciences du numérique. Le réseau Audimath¹³⁹, accompagne les acteurs et permet de faire circuler l'information entre les différents acteurs grâce à sa liste de diffusion.

Les laboratoires de mathématiques se sont investis dans cette mission de diffusion des sciences. Certains d'entre eux ont organisé en leur sein des équipes qui se consacrent à cette mission ou bien se sont associés pour monter des structures de médiation comme la Maison des mathématiques de l'Ouest¹⁴⁰ (MMO), la Maison des mathématiques et de l'informatique¹⁴¹ (MMI) ou la Maison Poincaré¹⁴². Citons une initiative particulièrement originale dans ce paysage, née sous l'impulsion du mathématicien Étienne Ghys¹⁴³ et de la communauté mathématique lyonnaise: le site Images des mathématiques, publié par le CNRS et source exceptionnelle d'information vulgarisée sur les mathématiques.

Finalement, rappelons la très grande diversité des productions en interaction avec des artistes, dont certains exemples sont présentés en section 1.4 de ce document. Ces actions sont souvent cofinancées par les fonds spécifiques des acteurs de la popularisation cités ci-dessus, tant l'art est

134. <https://animath.fr>.

135. <https://www.mathenjeans.fr/>.

136. <http://lesmathsencene.fr/>.

137. <https://pixees.fr/echanger-entre-nous/la-mediation-scientifique-chez-inria/>.

138. Acronyme de Institut National de Recherche en Informatique et Automatique.

139. <https://audimath.math.cnrs.fr>.

140. <http://www.fpl.math.cnrs.fr/mm-ouest/>.

141. <https://mmi-lyon.fr/>.

142. http://www.ihp.fr/en/IHP2021/Maison_Poincare.

143. Étienne Ghys est directeur de recherche au CNRS, membre de l'Unité de maths pures et appliquées (ENS Lyon et CNRS), secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Le prix Clay de la diffusion des mathématiques lui a été attribué en 2015 pour « ses contributions personnelles importantes à la recherche mathématique et ses travaux remarquables pour la promotion des mathématiques ». <http://perso.ens-lyon.fr/ghys/accueil/>.

un vecteur d'appropriation des sciences. Elles sont aussi portées par des structures du monde de la culture, comme les musées, les Centres de culture scientifique, technique et industrielle¹⁴⁴ (CCSTI) les médiathèques, les théâtres et autres lieux de culture, ou bien d'autres structures institutionnelles (hôtels de ville ou de région) ou d'enseignement (écoles, collèges, lycées, universités, etc.). Elles sont aussi pour certaines coportées et cofinancées par des associations spécifiques comme celles réunies au sein du réseau Transversale des réseaux art sciences¹⁴⁵ (TRAS).

Au total, ce sont en moyenne 330 « produits et activités de la médiation, de la diffusion médias et de la production art-sciences » qui ont été produits par an par l'ensemble des laboratoires du corpus¹⁴⁶ au cours des cinq dernières années.

2.6 UNE PRODUCTION DANS LE TOP 5 MONDIAL

À l'instar des prix internationaux, qui seront listés dans la section suivante, la bibliométrie ne peut pas se substituer à une analyse des documents et des résultats eux-mêmes pour évaluer la qualité de la production scientifique. La caractérisation des publications en mathématiques en France et dans le monde, qui constitue le Volume 3 (Vol. 3 SNM OST) de ce rapport de Synthèse nationale et de prospective en mathématiques, apporte cependant un éclairage supplémentaire sur la production française en mathématiques, dont certains éléments sont repris et complétés ci-dessous.

L'analyse de l'OST apporte un regard original sur la production mondiale en mathématiques, portant sur 979135 publications parues dans l'une des 1083 revues du corpus OST entre 2013 et 2020, à mettre en miroir de la production française de 67311 publications au cours de la même période, soit **6,87 % de la production mondiale en mathématiques**. La France est une grande nation publiante qui occupe la **5^e place mondiale** en nombre de publications derrière la Chine, les États-Unis, l'Inde et l'Allemagne. La France représente un peu moins de 7 % du volume des publications, mais 15 % des copublications avec l'étranger avec une production qui est restée stable, en quantité, durant la période 2013-2020. La section 3.1 tempèrera cette analyse favorable par une étude de l'évolution de ces données depuis une dizaine d'années.

144. Par exemple https://emf.fr/ec3_event/exposition-maths-mesure/, <https://emf.fr/discipline/mathematiques/> et <https://www.amcsti.fr/fr/membres/centre-culturel-pour-lapproche-des-mathematiques-par-lart-et-le-jeu/>

145. <https://www.reseau-tras.eu/>.

146. Voir données Hcéres en annexe D de ce document.

La production scientifique en mathématiques est de plusieurs types et est assez spécifique par rapport à d'autres sciences. Elle comprend principalement des articles scientifiques et, dans une moindre mesure que pour d'autres domaines, des actes de conférence, écrits seuls ou avec un nombre réduit de collaborateurs. Il faut noter qu'en règle générale, pour les revues mathématiques, l'ordre des auteurs est alphabétique. Ces articles sont écrits en LaTeX, déposés en très grande partie sur le serveur d'archives ouvertes Hal¹⁴⁷ (avec reversement possible sur le serveur international arXiv), et sont soumis pour publication dans des revues internationales à comité de lecture, ou bien pour des présentations dans des conférences avec actes. Des actes sont souvent demandés aux auteurs pour les grandes conférences internationales généralistes comme lors de l'International Congress of Mathematicians (ICM), mais aussi lors de certaines conférences thématiques internationales. En second lieu, la production scientifique en mathématiques comprend des ouvrages ou chapitres d'ouvrages sur des thèmes précis, lieux de présentation de résultats originaux, de synthèse et de cours. Le nombre cumulé de monographies produites au sein de l'ensemble des laboratoires du corpus Hcéres est, en moyenne, de 80 par an¹⁴⁸.

La production scientifique comprend également des logiciels, des librairies ou des packages¹⁴⁹, ayant pour certains une forte reconnaissance, interne à la communauté mais aussi externe. Par exemple, le logiciel Pari/GP (Bordeaux) a obtenu le Richard D. Jenks Memorial Prize 2021¹⁵⁰. Nombre de ces productions logicielles sont distribuées en mode open source. Certains packages associés au logiciel de traitement statistique R ont une très large audience, comme le package FactoMineR développé au laboratoire de mathématiques de Rennes¹⁵¹ (IRMAR) et téléchargé plus de 5 millions de fois depuis son lancement en 2006. Plusieurs logiciels ou bibliothèques de calcul scientifique sont devenus des références mondiales (par exemple, FreeFem++¹⁵² ou Feel++¹⁵³ pour les éléments

finis, mmg¹⁵⁴ pour les maillages). Le logiciel libre de calcul formel Giac/xcas¹⁵⁵ est utilisé dans beaucoup de calculatrices sophistiquées de grandes marques (Casio, HP et TI), ainsi que dans le logiciel éducatif GeoGebra. De 2015 à 2019, le projet EU H2020 OpenDreamKit156 (7,6 M€), auquel étaient associés quatre laboratoires de mathématiques (LMO, IMB, LJK, LMV)¹⁵⁷, a été moteur pour l'avancement de nombreux logiciels européens pour les mathématiques. Ce projet a également été structurant pour la coopération européenne avec plusieurs conférences associées au projet. Ces développements logiciels sont réalisés en grande partie grâce à l'aide et l'investissement de personnels d'appui, notamment les ingénieurs et ingénieurs de recherche. Il faut souligner une tendance récente, dans une perspective de reproduction des résultats de la recherche, à associer aux articles théoriques la communication des logiciels ou des programmes ayant servis à obtenir les résultats numériques, comme par exemple dans le journal électronique Image Processing On Line (IPOL)¹⁵⁸.

En lien avec l'activité technologique, l'OST a également évalué les liens entre mathématiques et activité technologique en analysant le nombre de citations des articles du corpus SNM de publications dans les brevets. Ainsi 6 650 publications issues des 9 791 35 publications du corpus mondial ont été citées. La France, avec 245 publications citées dans des brevets se situe de nouveau dans les grandes nations (avec les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Allemagne). Nous renvoyons à la section 5.2 du volume 3 de ce rapport pour une analyse quantitative précise et la définition des indicateurs.

Enfin, depuis la vague D2020 d'évaluation des laboratoires par le Hcéres, sont pris également en compte dans la production de la recherche les activités liées à la médiation scientifique et aux interventions dans les médias. Cette production multiforme, dont plusieurs exemples ont été donnés en fin de chapitre 1, est maintenant une part substantielle de la production des mathématiciennes et mathématiciens, avec un total de 330¹⁵⁹ activités en moyenne par an dans les laboratoires du corpus.

147. <https://hal.archives-ouvertes.fr/>.

148. Dans le procédé de comptage, un même document apparaît autant de fois que de laboratoires du corpus auquel appartiennent les auteurs, mais un livre copublié avec un collègue étranger, ou bien dont les auteurs appartiennent au même laboratoire, n'apparaît qu'une fois. Cf. annexe D pour la méthodologie.

149. En informatique, ensemble de logiciels munis d'une documentation, conçus pour répondre à des besoins spécifiques et permettre une utilisation autonome.

150. <https://www.sigsam.org/awards/jenks/awardees/2021/>.

151. FactoMineR est un package R dédié à l'analyse exploratoire multidimensionnelle de données. Il a été développé et il est maintenu par François Husson, Julie Josse, Sébastien Lê, d'Agrocampus Rennes, et J. Mazet. http://factominer.free.fr/index_fr.html.

152. <https://freefem.org/>.

153. <https://www.feelpp.org/>.

154. <https://www.mmgtools.org/>.

155. Développé par Bernard Parisse à l'Institut Fourier, Grenoble. Une documentation très étoffée en français est disponible, principalement développée par Renée de Graeve.

156. <https://opendreamkit.org/>.

157. Voir la liste et les sigles des laboratoires du corpus Hcéres en annexe E.

158. <https://www.ipol.im/>.

159. Donnée issue de l'analyse du corpus Hcéres de laboratoires, vague 3, cf. annexe D.

2.7 UNE RECHERCHE RECONNUE DANS UN ENVIRONNEMENT INTERNATIONAL CONCURRENTIEL

2.7.1 LA COMMUNAUTÉ MATHÉMATIQUE INTERNATIONALE

L'intérêt pour les mathématiques regroupe des personnalités souvent très différentes et transcende les barrières engendrées par les frontières ou les idéologies. L'activité mathématique s'est internationalisée bien avant que l'on parle de mondialisation. Ainsi, par exemple, le mathématicien Joseph-Louis Lagrange, né à Turin en 1736 et mort à Paris en 1813, fit-il la majeure partie de sa carrière à Berlin tout en correspondant avec les principaux mathématiciens de son époque. Cet aspect international de la discipline reste bien entendu très présent aujourd'hui, avec une accélération spectaculaire au cours du XX^e siècle, qui verra l'Europe de Lagrange s'élargir aux États-Unis. Désormais, des puissances économiques comme

Figure 12

les dix problèmes du Clay Mathematics Institute



Comme l'avait fait Hilbert en 1900 lorsqu'il dressa une liste de vingt-trois problèmes à résoudre, l'Institut Clay a sélectionné en 2000 dix problèmes, les problèmes du millénaire, offrant un million de dollars à quiconque en proposerait une solution. Parmi ceux-ci, se trouvent des questions encore ouvertes, par exemple la résolution de l'hypothèse de Riemann, tandis que d'autres sont aujourd'hui résolues. C'est par exemple le cas de la conjecture de Poincaré, démontrée en 2003 par Grigori Perelman. Celui-ci ayant renoncé au prix, l'Institut Clay a réinvesti cet argent dans la recherche en le confiant à l'Institut Henri Poincaré (IHP). Ce budget finance la chaire Henri Poincaré qui permet à un mathématicien ou une mathématicienne de travailler quelques mois en résidence à l'IHP.

la Chine ou la Corée attirent des mathématiciennes et des mathématiciens jeunes et talentueux grâce à des politiques très volontaristes. Il convient également de rappeler que la fin de l'URSS et l'ouverture de l'Europe centrale ont conduit à une migration des mathématiciens d'Europe de l'Est vers l'Europe de l'Ouest et les États-Unis, contribuant à un renforcement notable des mathématiques dans ces pays. Les chiffres précis, et les enjeux qui en découlent seront présentés dans la section 3.1

Les mathématiciennes et les mathématiciens se retrouvent aujourd'hui dans l'International Mathematical Union (IMU), qui organise notamment tous les quatre ans l'International Congress of Mathematicians (ICM) au cours duquel sont décernées les médailles Fields. À côté de l'IMU, l'International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM) rassemble chercheurs et chercheuses impliqués dans les applications des mathématiques. De même que l'IMU, l'ICIAM organise un congrès mondial tous les quatre ans, congrès au cours duquel sont délivrés des prix, notamment les prestigieux prix ICIAM.

Les grands congrès sont l'occasion de découvrir les avancées notables dans tel ou tel domaine des mathématiques, de faire le point sur les sujets importants ainsi que sur diverses questions liées aux mathématiques, comme par exemple leurs liens avec la société ou les questions d'enseignement. L'idée de dresser la liste des questions importantes pour les mathématiques n'est pas nouvelle et ce rôle fut longtemps joué par les Académies, qui mettaient alors au concours la résolution de problèmes. Ainsi Sophie Germain (1776-1831) remporta-t-elle en 1816 le prix mis en jeu par l'Académie des Sciences de Paris pour l'explication des figures montrées par le physicien Ernst Chladni en 1806 dans une expérience où du sable évolue sur une plaque soumise à des vibrations. Les travaux de Sophie Germain permirent bien entendu de faire des progrès sur l'équation des plaques, mais également sur l'approche analytique des surfaces (rôle de la courbure).

Aujourd'hui, plusieurs grands défis sont posés par des fondations privées comme l'Institut Clay, ou encore par de riches mécènes comme Mark Zuckerberg, fondateur de Facebook. Elles mettent en jeu des sommes pouvant atteindre 3 millions de dollars.

2.7.2 PRIX ET RÉCOMPENSES INTERNATIONALES

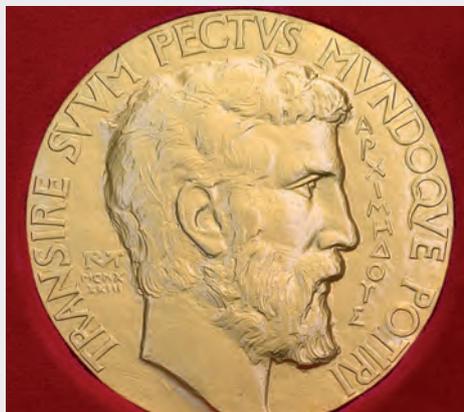
Dans un contexte de marché de l'emploi désormais globalisé, la population des laboratoires de mathématiques français est très internationale,

témoignant de l'attractivité de la France liée à sa forte tradition mathématique et à son haut niveau de formation doctorale. Les flux entrants et sortants, à condition de rester équilibrés, sont un atout pour les mathématiques françaises, car ils contribuent à la forte connexion des laboratoires, aux échanges d'idées. Ils contribuent à un environnement favorable au développement des mathématiques.

Depuis 1936, date de la création de l'International Congress of Mathematicians, la France occupe avec 13 médailles le 2e rang mondial après les États-Unis. Rapporté à la taille du pays, on peut voir cela comme une première place au niveau international pour l'école mathématique française. Symboles vivants d'une France devenue terre d'accueil privilégiée pour les mathématiciens du monde entier (en provenance par exemple des pays de l'Europe centrale dans les années 1990), plusieurs médaillés français possèdent la double nationalité: franco-russe pour

Figure 13

les 13 médailles Fields Françaises



Laurent Schwartz (1950), Jean-Pierre Serre (1954), René Thom (1958), Alexander Grothendieck (1966), Alain Connes (1982), Pierre-Louis Lions (1994), Jean-Christophe Yoccoz (1994), Laurent Lafforgue (2002), Wendelin Werner (2006), Cédric Villani (2010), Ngô Bảo Châu (2010), Arthur Avila (2014) et Hugo Duminil-Copin (2022).

Maxime Kontsevitch (2006), franco-vietnamienne pour Ngô Bao Châu (2010) et franco-brésilienne pour Artur Avila (2014). Ces résultats exceptionnels, qui témoignent de la vitalité des mathématiques françaises, sont d'autant plus remarquables qu'ils s'inscrivent dans un contexte international mondialisé et très concurrentiel.

Par ailleurs, le tableau d'honneur de l'école mathématique française est bien pourvu (cf. tableau 6). Outre les 13 médailles Fields, un prix Gauss et quatre prix Abel, les travaux des chercheuses et des chercheurs français ont également une forte reconnaissance internationale comme en témoigne la présence de l'école mathématique française aux congrès internationaux: ainsi Alice Guionnet et Laure Saint-Raymond ont fait partie des 21 conférencières et conférenciers pléniers à ICM

2022. Sylvia Serfaty¹⁶⁰, Vincent Lafforgue, Nalini Anantharaman et Catherine Goldstein ont présenté leurs travaux à l'ICM 2018 Rio (4 sur 21). Isabelle Gallagher, Claude Le Bris et Sylvia Serfaty

¹⁶⁰ S. Serfaty est en poste au Courant Institute (USA).

Tableau 6

Reconnaissance internationale et prix majeurs (outre Médailles Fields)

1 prix	Gauss Yves Meyer (2010).
4 prix	Abel Jean-Pierre Serre (2003), Jacques Tits (2008), Mikhael Gromov (2009) et Yves Meyer (2017).
1 prix Wolf en mathématiques (depuis 2010)	Jean-François Le Gall (2019)
4 prix Shaw	Maxime Kontsevitch (2012), Claire Voisin (2017), Michel Talagrand (2019), Jean-Michel Bismut (2021).
3 Breakthrough Prizes in Mathematics	Maxime Kontsevitch (2015), Vincent Lafforgue (2019), Hugo Duminil-Copin (catégorie « Jeunes » dite « New Horizons » 2017).
2 prix ICIAM Maxwell	Jean-Michel Coron (2015), Claude Bardos (2019).
1 prix ICIAM Pioneer	Yvon Maday (2019)
6 médailles d'or du CNRS	Émile Borel (1954, la première), Jacques Hadamard (1956), Henri Cartan (1976), Jean-Pierre Serre (1987), Alain Connes (2004), Claire Voisin (2016).
3 médailles de l'innovation du CNRS	Stéphane Mallat (2013) Jean-Michel Morel (2015) et Raphaèle Herbin (2017).
1 laurier Inrae, prix espoir scientifique	Thomas Opitz (2020).
3 prix Klein (European Mathematical Society)	Josselin Garnier (2008) Emmanuel Trélat (2012) Patrice Hauret (2016).

ont donné chacun une conférence à l'ICIAM 2019 à Valence, de même que Jean-Michel Coron et Laure Saint-Raymond à l'ICIAM 2015 à Pékin.

Toute précaution étant prise sur la méthodologie adoptée, mentionnons que la France se situe particulièrement bien en mathématiques dans le classement thématique ARWU, dit « classement

de Shanghai », avec 18 établissements dans les 100 premiers suivant le critère par défaut disciplinaire Q1. Ce classement révèle également que les mathématiques sont particulièrement bien placées en France puisqu'au classement toutes disciplines confondues, seuls cinq établissements sont dans les 100 premiers (Paris-Saclay, PSL, Sorbonne, U. Paris-Cité et UGA). ●

Tableau 7

Classement ARWU dit « de Shanghai » en Mathématiques 2020¹⁶¹

	Classement mondial	Classement français
Université Paris-Saclay	1	1
Sorbonne Université	3	2
Université PSL	12	3
Université Paris Cité	24	4
École Normale supérieure de Lyon	34	5
Institut polytechnique de Paris	39	6
Université Grenoble Alpes	40	7
Université Aix-Marseille	51-75	8-11
Université Paul Sabatier	51-75	8-11
Université Gustave Eiffel	51-75	8-11
Université de Bordeaux	51-75	8-11
Université Claude-Bernard-Lyon 1	76-100	12-18
École Centrale de Lyon	76-100	12-18
Insa Lyon	76-100	12-18
Université Sorbonne Paris-Nord	76-100	12-18
Université Côte-d'Azur	76-100	12-18
Université de Lille	76-100	12-18
Université de Rennes 1	76-100	12-18

161. <https://www.shanghairanking.com/rankings/arwu/2021>.

CHAPITRE 3

UN DIAGNOSTIC ET 21 RECOMMANDATIONS

3.1 DES DÉFIS GÉOGRAPHIQUES INTERNATIONAUX ET NATIONAUX

3.1.1 UNE CONCURRENCE FORTE FACE À DES PAYS EN NETTE CROISSANCE ET UNE PRODUCTION FRANÇAISE AU SPECTRE LARGE MAIS DÉSÉQUILBRÉE

Comme cela a été décrit dans la section 2.7, la France se situe, en termes de récompenses et de reconnaissances internationales au plus haut niveau. Mais tout comme on ne juge pas du comportement sportif de la population à l'aune des seules médailles olympiques, on ne peut se contenter de ce seul constat élogieux. Il convient donc de se pencher sur d'autres indicateurs, plus à même de décrire la dynamique scientifique globale de la communauté mathématique française.

Un premier indicateur est celui de l'attractivité du sol national. Importation et exportation de talents sont des éléments importants pour régénérer les thématiques et ouvrir de nouveaux champs d'études. À travers la qualité de sa formation doctorale mondialement reconnue, la France a toujours pourvu les universités étrangères à forte visibilité en mathématiciennes et mathématiciens. La tradition d'accueil de la France a également toujours attiré des scientifiques de haut niveau venant du monde entier. Le bilan qu'on peut dresser au cours de ces dernières années de ces « échanges » est néanmoins préoccupant, laissant apparaître une balance en début de déséquilibre. Nombre des chercheurs étrangers de haut niveau, en particulier parmi les jeunes, recrutés en France au CNRS, ne sont restés que très peu de temps (un an ou deux), faisant de ces recrutements un marche-pied pour une carrière menée ailleurs. Ainsi, sur les 189 chargées et chargés de recherche recrutés par l'Insmi entre 2010 et 2020¹⁶², 30 sont actuellement en détachement ou en disponibilité, dont 25 à l'étranger (7 aux États-Unis, 4 en Chine, 3 en Italie, 3 en Suisse).

162. Chiffres 2022 de l'Insmi.

De même les départs de jeunes talents français internationalement reconnus connaissent une accélération. S'il est facile d'identifier plusieurs dizaines de noms, expatriés pour la plupart en Suisse, aux États-Unis, au Royaume-Uni ou en Allemagne, il est plus délicat d'en identifier les causes. Sur les cinq derniers lauréats français de la médaille Fields, quatre exercent partiellement voire totalement à l'étranger. Comme décrit dans le volume 2 de ce rapport (Vol. 2 SNM ADIS), on parle aussi beaucoup français dans les laboratoires suisses ou américains. Les entretiens menés par le comité ont pointé dans de nombreux cas les conditions de fonctionnement de la recherche mathématique en France¹⁶³, dans la décision de quitter ou de ne pas revenir en France.

Un second indicateur de la dynamique collective est le nombre de publications scientifiques. À manier avec précaution, d'autant que le bien-fondé de la surproduction scientifique est de plus en plus remis en cause dans toutes les disciplines scientifiques et en tout premier lieu en mathématiques, une analyse bibliométrique permet néanmoins de comparer les comportements et les dynamiques pays par pays.

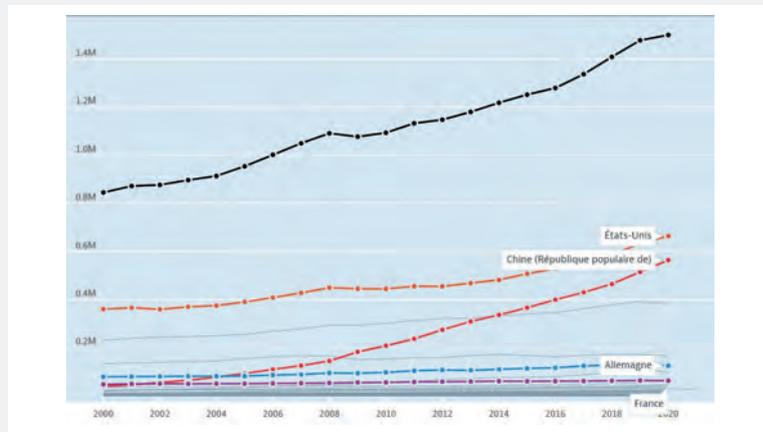
Un des points frappants de l'analyse bibliométrique présentée dans le volume 3 de ce rapport (Vol. 3 SNM OST) est la très forte imbrication de la production en mathématiques avec celle des autres sciences. Les tableaux 5a et 5b du Volume 3 montrent ainsi que pour plusieurs domaines des mathématiques, moins de 50 % des publications du corpus SNM de revues de l'OST sont indexées en mathématiques dans les nomenclatures classiques. Les autres domaines auxquels ces publications sont rattachées sont la physique, les sciences de l'ingénieur, l'informatique, les sciences sociales ou la biologie. Ce constat confirme une discipline résolument en interaction.

Un second point frappant est la croissance du nombre de publications mondiales par année depuis 2013, atteignant +11 % au cours de l'année 2020. Les chiffres sont à prendre avec les

163. cf. section 3.3 « inflation des missions vs baisse du nombre de postes ». A noter cependant, parmi les grands atouts du système français, l'attractivité liée à la possibilité de postes permanents dès le début de carrière ainsi que des conditions de vie plus favorables que dans d'autres pays, liées à la sécurité sociale ou la gratuité de la scolarité.

Figure 14

Dépenses intérieures brutes de R&D (en Million de dollars)¹⁶⁴



précautions de rigueur puisqu'ils n'augurent en rien de la qualité de la production. Cette croissance est due tout particulièrement à la Chine (+33 % entre les périodes 2013-2016 et 2017-2020) et à l'Inde (+50 % sur la même période mais sur un moindre volume) et a considérablement changé les pratiques de publication ainsi que les interlocuteurs internationaux des chercheuses et chercheurs. Les autres pays ayant une forte augmentation, mais moins marquée, sont les États-Unis, la Russie, le Brésil et l'Iran. La France est passée de la 4^e place à la 5^e place mondiale en nombre de publications, derrière la Chine, les États-Unis, l'Inde et l'Allemagne, mais reste néanmoins parmi les grandes nations publiantes. À cet égard, la comparaison de ce classement avec les dépenses intérieures brutes en R&D (recherche & développement publiques et privés) de ces mêmes pays, et leur évolution depuis 20 ans est édifiante (voir ci-dessus)¹⁶⁴

Ce constat est à mettre en regard du considérable effort de restructuration du paysage académique français en grands établissements, restructuration imaginée pour apparaître en haut des tableaux d'excellence mondiaux. Ce premier pas structurel ne suffira pas à faire conserver à la France sa place exceptionnelle dans les mathématiques mondiales s'il n'est pas accompagné d'un investissement dans la thématique comparable à ce qui a été fait dans les pays de premier plan. Citons par exemple le Royaume-Uni et son projet d'Académie des

164. <https://data.oecd.org/fr/rd/depenses-interieures-brutes-de-r-d.htm>. Les données concernant l'Inde ne sont pas accessibles. À noter qu'il s'agit dans ce graphique des données cumulées d'investissement en R&D public et privé. Les données relatives à l'investissement public seul seraient également pertinentes pour une étude plus poussée, mais elles n'ont pas été reprises ici (DIRDA, Principaux indicateurs de la science et de la technologie: Volume 2020/2 - ISSN 1609-7327 - © OECD 2020).

sciences mathématiques lancé en 2021, ou encore la politique volontariste des universités chinoises de se donner les moyens de recrutement de haut vol à l'international, lors par exemple de la mise en place du programme Mille Talents¹⁶⁵ ou du programme d'aide à l'installation sur son sol d'antennes d'universités prestigieuses (comme NYU à Shanghai)¹⁶⁶.

Conserver cette place dans le top 5 mondial nécessite une prise de conscience structurelle, donnant les moyens aux ambitions que la France peut nourrir, une prise de conscience culturelle, reconnaissant le rôle majeur des mathématiques dans la formation des esprits et le devenir scientifique et technique, une prise de conscience politique enfin face au constat inquiétant d'un début de déclassement attesté par la fuite de certains cerveaux et une attractivité déclinante envers les talents internationaux.

RECOMMANDATION 1

Aligner l'investissement français dans les mathématiques sur celui des nations à fort taux de croissance de publications comme la Chine et dans une moindre mesure les États-Unis, afin de conserver la place de la France en matière de nombre de publications et d'indicateurs d'excellence.

Il est en outre particulièrement intéressant de dégager les lignes de force et les faiblesses de l'activité nationale de recherche en mathématiques en comparaison avec l'activité internationale.

L'analyse des évolutions par domaines issus de la caractérisation bibliométrique par l'OST¹⁶⁷ confirme l'analyse par thématiques du chapitre 1 de ce rapport et remet en lumière un fort besoin de mathématiques en interactions. La Figure 15 met en relief une très forte augmentation du nombre de publications mondiales en modélisation et calcul (+16 %), ainsi qu'en systèmes dynamiques, analyse et théorie ergodique, équations aux dérivées partielles, formant dans l'ordre les domaines qui produisent le plus. La statistique affiche le plus fort taux de croissance suivi des domaines mathématiques et sciences du vivant et mathématiques et informatique. Cependant, l'ensemble des domaines a un nombre de publications soit en augmentation, soit stable.

165. https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_%C2%AB_1_000_talents_%C2%BB.

166. <https://shanghai.nyu.edu/about>.

167. Vol. 3 SNM OST, *Caractérisation des publications en mathématiques en France et dans le monde*.

Figure 15

évolution du nombre de publications mondiales par domaine des mathématiques, 2013-2020¹⁶⁰

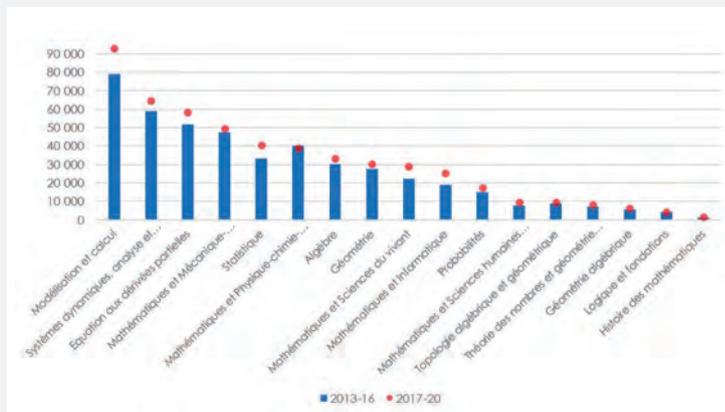
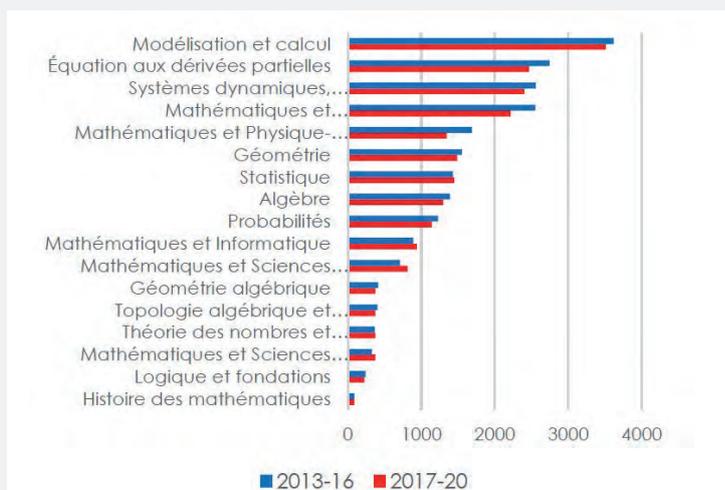


Figure 16

Évolution des publications de la France par domaine¹⁶⁰



Au niveau français, la production scientifique d'articles a ses propres caractéristiques. Si modélisation et calcul est en nombre le plus prolifique, suivi de équations aux dérivées partielles et systèmes dynamiques, analyse et théorie ergodique, les évolutions sont pour ces trois domaines négatives lorsque l'on regarde les périodes 2013-2016 et 2017-2020, avec des baisses de 3 % et même 10 % en EDP. Seuls les domaines de la statistique, des mathématiques et informatique, et mathématiques et SHS ont une évolution positive du nombre de publications.

Une seconde caractéristique peut se mesurer avec l'indice de spécialisation (cf. section 3.1 du Vol. 3 SNM OST) de la France, montrant une spécialisation prépondérante dans certains domaines des mathématiques, dont les

probabilités, la géométrie algébrique, l'histoire des mathématiques, la logique et fondations, la théorie des nombres, et finalement les EDP pour lesquelles elle a une spécialisation comparable à celle des autres pays. Cela signifie donc que dans l'ensemble des autres domaines, y compris ceux en interaction ou la statistique, la France est moins spécialisée que la moyenne des autres pays. Il s'agit d'une particularité partagée par d'autres pays de longue histoire mathématique, avec cependant quelques différences marquées: les États-Unis, comme le Royaume-Uni, ont par exemple une production beaucoup plus spécialisée en statistique ou en mathématiques et sciences du vivant¹⁶⁸. Il faut d'ailleurs noter que ces deux disciplines apparaissent souvent comme des disciplines à part entière dans les pays anglo-saxons. La différence est encore plus marquée avec les pays à forte croissance de publications comme la Chine.

La France accuse un retard, dans le développement des mathématiques en interaction, chiffré par l'analyse de l'OST. Des résultats scientifiques remarquables ont été présentés au chapitre 1 par exemple en mathématiques et sciences de la vie, ce qui est de très bon augure. Il ne s'agit ici que de données chiffrées qui ne prennent pas en compte par exemple le fait que de nombreux modèles issus des sciences de la vie sont étudiés en probabilité, systèmes dynamiques ou EDP. Il n'en reste pas moins que ces chiffres doivent alerter la communauté mathématique et l'inciter à des changements de comportement incluant une meilleure reconnaissance des aspects applicatifs et interdisciplinaires en son sein.

RECOMMANDATION 2

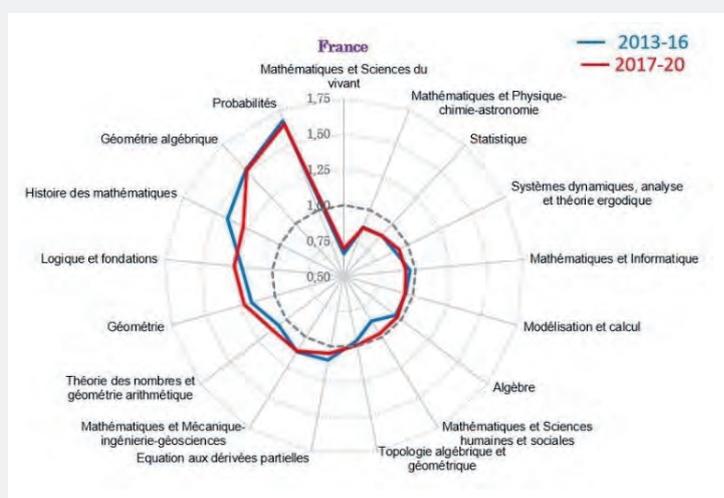
Développer les mathématiques en interactions, par exemple en créant des postes académiques en interaction à l'instar du CID 51 au CNRS¹⁶⁹, sans toutefois fragiliser les thématiques internes à la discipline dans lesquelles la France excelle déjà.

L'analyse de l'OST met aussi en relief la très faible part, en termes de nombre de publications, de nombreux pays d'Afrique. Ces pays, avec lesquels la France a parfois une longue tradition d'échanges (cf. figure 8 du Vol. 3 SNM OST), bénéficient peu ou indirectement de l'impact

168. Vol. 3 SNM OST, *Caractérisation des publications en mathématiques en France et dans le monde*, OST, figure 11.
169. Commission Interdisciplinaire du CNRS.

Figure 17

Indice de spécialisation de la France¹⁶⁰



économique considérable apporté par une expertise en mathématiques et aucun n'apparaît dans les quinze premiers pays à fort niveau de publication. C'est à ce problème mondial que répond le Cimpa présenté en section 2.5. Le Cimpa, soutenu par l'Unesco, a acquis aujourd'hui une maturité structurelle.

RECOMMANDATION 3

Soutenir la coopération internationale, avec les pays en voie de développement en s'appuyant sur le Cimpa, d'une part, et plus généralement sur le réseau des International Research Laboratories (IRL) et des autres structures françaises à l'international.

laboratoires¹⁷⁰. Suivent la région Auvergne Rhône-Alpes (14,2 % pour 6 laboratoires) et l'Occitanie (7,6 % pour 6 laboratoires).

Une des informations intéressantes liée à ces chiffres est une assez grande homogénéité du volume de publications sur le territoire (hors Île-de-France). Il s'agit du fruit d'une des pratiques notables de la communauté mathématique: la politique de non recrutement local ou de non affectation locale des docteurs sur les postes de MCF ou CR, ni de recrutement ou d'affectation des MCF et CR sur des postes PR ou DR du laboratoire dans lequel ils exercent. Cette pratique particulière, issue d'une décision prise à la fin des années 90 mais difficile à dater précisément¹⁷¹, est prônée par l'Insmi avec quelques assouplissements récents¹⁷² en particulier liés aux postes de repyramidage dans les universités. Elle a favorisé le transfert de connaissances et la notion d'appartenance à une communauté plutôt qu'à des lieux d'exercice. Elle a aussi permis d'irriguer le territoire entier avec des mathématiciennes et des mathématiciens de premier plan, créant ainsi des laboratoires pépites à côté de centres de plus grande envergure. Elle a favorisé les transferts et les échanges de connaissances lors des mutations ou des affectations et est une des raisons de l'excellence mathématique française présente sur tout le territoire.

170. Cf. liste en annexe E.
 171. <http://images.math.cnrs.fr/recrutement-local.html?lang=fr>.
 172. Cf. section 3.3 et la lettre de l'Insmi sur les mesures précises: <https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/parite-en-mathematiques-un-bilan-janvier-2021>.

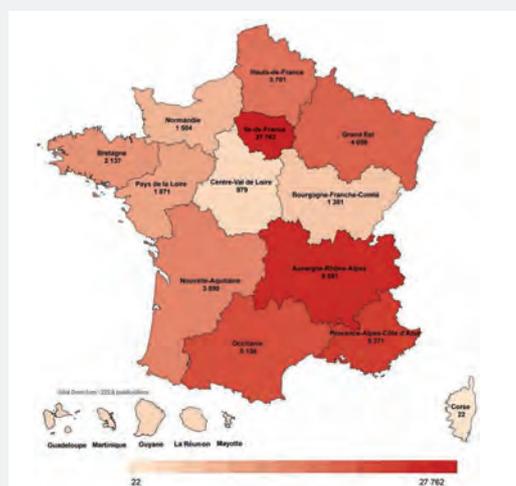
3.1.2 SPÉCIFICITÉS RÉGIONALES ET MAILLAGE DU TERRITOIRE

Comme rappelé dans la section 2.1.3, la structuration en réseaux de la recherche française en mathématiques participe à son rayonnement, en permettant l'échange de connaissances et l'échange de bonnes pratiques partout sur le territoire. Ce maillage permet également de répondre aux besoins économiques et en enseignement partout en France, les mathématiques étant une discipline incontournable pour l'enseignement, la recherche et l'innovation.

Ce maillage est décrit en détail dans la partie 4 du volume 3 (Vol. 3 SNM OST). À titre d'exemple, il apparaît clairement des disparités dans les volumes de production régionaux concernant les publications, avec 41,2 % de la production française issue de l'Île-de-France et de ses 25

Figure 18

Nombre de publications d'articles par région française¹⁶⁰



En lien avec ce maillage homogène du territoire hors Paris, plusieurs labex régionaux sont venus compléter les structures déjà existantes et liées aux thématiques ou aux organismes. Ces programmes de recherche, avec des moyens substantiels (13 M€ par exemple pour le Centre Henri Lebesgue – Bretagne Pays de Loire au cours de la période 2011-2024) ont participé au rayonnement de l'ensemble des mathématiques françaises. Comme rappelé en fin de chapitre précédent, parmi les 100 plus grandes universités mondiales dans le domaine des mathématiques, 11 universités ou établissements de province apparaissent sur les 18 présents¹⁷³, avec des progressions (depuis 2017) pour l'université Claude Bernard de Lyon (bénéficiant du labex Milyon), Aix-Marseille (labex Archimède) et l'entrée de Lille (labex CEMPI).

Si les universités parisiennes dominent les mathématiques françaises en nombre de publications, il faut quand même noter que près de 60 % de la production nationale est faite en région. Même si l'utilisation d'indicateurs comme « l'indice d'impact » sont à prendre avec précaution, le tableau 9 du Vol. 3 SNM OST montre que plusieurs régions ont des indices comparables voire supérieurs à ceux de l'Île-de-France, ce qui soutient l'idée d'une production de qualité en région. Cette analyse est confirmée par une étude faite en 2020 qui montre par exemple que Rennes 1, Nice et Paris 7 (devenu université de Paris Cité) ont des indices de productivité similaire dans les meilleures revues (liste élaborée à partir de données MathSciNet, voir le tableau 7 dans la référence¹⁷⁴).

Les dispositifs de type labex, en appui des fédérations ou des réseaux locaux, ont aussi permis d'étoffer et d'environner l'offre régionale des laboratoires vers les entreprises (comme l'Agence Lebesgue portée par le Centre Henri Lebesgue) ou vers la société (comme la MMI à Lyon), en partenariat privilégié avec les acteurs et les administrations régionales. La fin annoncée en 2024 de plusieurs de ces dispositifs risque de fragiliser ce réseau régional des mathématiques et s'accompagner d'une baisse substantielle des moyens qui leur ont permis de se hisser au meilleur niveau mondial. La question de protéger les mathématiques d'un risque de déclassement international est partagée par plusieurs pays occidentaux, à l'instar du Royaume-Uni qui a lancé, en 2021, son projet d'Académie des sciences mathématiques pour y parer.

173. Voir le Tableau 7 de ce document.

174. Voir *Formations et carrières mathématiques en France : un modèle typique d'excellence ?* par Pierre-Michel Menger, Colin Marchika, Yann Renisio, Pierre Verschuere, Revue Française d'Économie, Association Française d'Économie, 2020, pp.155-217, Vol. 35. À noter cependant que le périmètre disciplinaire et les revues utilisés dans cette étude ne sont pas comparables à ceux du Vol. 3 SNM OST.

RECOMMANDATION 4

Pérenniser, dans des cadres structurels existants ou à construire (en tant que labex prolongés hors ou dans les idex et isite, fédérations, fondations, etc.) les réseaux locaux de type labex issus du PIA¹⁷⁵ et soutenir leur activité. Préserver l'équilibre, entre l'Île-de-France et les autres régions, de la qualité de la recherche mathématique.

Dans ce cadre, il peut être utile de rappeler que l'une des grandes structures parisiennes du réseau des mathématiques françaises, la FMJH, n'est pas issue du PIA, mais a été créée par décret du premier ministre en 2010 avec des moyens issus d'une dotation d'État initiale en capital non consommable de 40 millions d'euros lors de l'opération Campus.

3.2 LES OUTILS FRAGILES DE LA RECHERCHE EN MATHÉMATIQUES

Le chapitre 2 a permis de décrire les outils mis en place et utilisés par les mathématiciens et les mathématiciennes en France. Le maintien ou le dimensionnement de ces outils nationaux, dont les grands centres de conférences décrits dans la section 2.3, mais aussi ceux liés à l'édition (centre Mersenne et cellule Mathdoc présentés en section 2.3) ou aux interactions mathématiques-entreprises (AMIES présentée en section 2.4) sont une problématique majeure.

Concernant **les trois centres de Conférence IHP, IHES et CIRM**, au cœur du réseau et pierres angulaires du rayonnement des mathématiques françaises à l'international, la question de la pérennité et du dimensionnement du financement est centrale. En 2019, la dotation annuelle cumulée de l'IHP et du CIRM s'élevait à environ 2,5 M€. Ce montant inclut le soutien apporté par le CNRS et par les universités concernées ainsi que la dotation indirecte de l'État et des collectivités¹⁷⁶. Il permet à environ soixante-dix ingénieurs, techniciens, personnels administratifs et logistiques d'œuvrer quotidiennement au service de ces trois entités. La part du budget consacrée aux actions scientifiques est d'environ un tiers. Cette somme provient des tutelles de ces centres et, pour un quart environ, du labex national Carmin. L'IHES a un financement original public-privé détaillé en section 3.4 avec un fort investissement de l'État également.

175. Programme d'investissement d'avenir, <https://www.gouvernement.fr/le-programme-d-investissements-d-avenir>.
176. En particulier la région PACA pour le CIRM, et la région IDF et la ville de Paris pour l'extension en cours de l'IHP.

Figure 19

Logo du labex Carmin



L'objectif initial de Carmin en 2011 était de constituer un portail d'accueil visible à l'international et avec un volant spécifique consacré aux pays en voie de développement (le Cimpa est intégré à Carmin). Carmin avait également vocation à conforter financièrement les centres, à accroître les interactions entre eux et à développer un fonds documentaire audio-visuel commun sur les mathématiques. Cet objectif est atteint. En témoignent la fréquentation du CIRM, passée de 3 000 visiteurs semaine en 2015 à presque 5 000 en 2021, l'accroissement des activités de médiation au CIRM et à l'IHP, la création d'écoles thématiques au CIRM à l'intention des jeunes participant aux trimestres de l'IHP, ainsi que la chaîne Carmin.tv¹⁷⁷, créée en 2021 en lien avec le fonds documentaire audio-visuel qui recense déjà plus de 5 000 films. Dix ans après sa création, avec cette forte croissance du besoin, Carmin est aujourd'hui sous-dimensionné.

Avec ces centres d'invitation et de rencontres mathématiques, la France possède des fleurons dont les homologues à l'étrangers sont le MSRI à Berkeley aux États-Unis, le MFO à Oberwolfach en Allemagne, l'Isaac Newton Institute à Cambridge en Angleterre, ou encore le *Morning Side Center of Mathematics* à Beijing en Chine. La France joue ainsi son rôle de pays leader dans l'écosystème mathématique mondial. Au regard de la compétition internationale accrue présentée et chiffrée dans la section 3.1, ces centres et l'activité de Carmin doivent être protégés, garder une certaine indépendance et augmenter leurs capacités d'action.

RECOMMANDATION 5

Sanctuariser le financement des trois grands centres de conférence et d'accueil, IHP, CIRM et IHES, dans le cadre du labex Carmin, récemment transformé en dispositif pérenne grâce à son intégration à l'index Sorbonne Université.

¹⁷⁷. <http://carmin.tv/>.

La politique **d'édition vertueuse**, présentée en section 2.3, est soutenue par la cellule Mathdoc, en charge en particulier des revues du catalogue Mersenne ainsi que de la numérisation grâce au projet Numdam. En 2021, le budget non consolidé¹⁷⁸ de Mathdoc était environ de 200 k€ dont un tiers sur subventions émanant du CNRS et de l'université Grenoble Alpes. Mathdoc fonctionne grâce à des personnels CNRS et UGA et à des développeurs informatiques en CDD. L'investissement réduit dans cet outil, dont l'existence répond pourtant à une recommandation de l'Académie des sciences, est à mettre en miroir du modèle économique des éditeurs privés, en particulier Springer et RELX (ex-Elsevier)¹⁷⁹. Cet outil permet d'accéder à un mode de publication de type science ouverte à moindre coût et s'est révélé ces dernières années comme le fer de lance de l'innovation en matière d'édition scientifique. L'existence même d'une alternative aux éditeurs commerciaux, parfois en situation de monopole, peut permettre de réguler un marché de l'édition scientifique extrêmement coûteux pour l'État.

Figure 20

premier numéro du Journal de l'école Polytechnique (1795-1796)



Institut Mittag-Leffler, Stokholm

Parmi les 14 revues en mathématiques gérées par Mersenne, fruits de la réappropriation par la communauté scientifique de son travail, certaines sont des revues historiques de premier plan comme les Annales de l'Institut Fourier et le Journal de théorie des nombres de Bordeaux, qui font partie du corpus ERA2018 et qui sont déjà dans la base Web of Sciences. D'autres sont des revues historiques remises en édition après un moment de latence comme le Journal de l'école Polytechnique dont les premiers numéros de la nouvelle édition sont parus en 2013. Dix des quatorze revues de Mersenne ont été intégrées au corpus de l'OST constitué pour

¹⁷⁸. C'est-à-dire le budget total moins le coût salarial des fonctionnaires.

¹⁷⁹. En 2017, le groupe RELX a annoncé un chiffre d'affaires de 8,395 milliards d'euros, en hausse de 4 %, et des bénéfices de 2,6 milliards d'euros.

ce rapport, les trois autres étant des créations récentes ne permettant pas les comparatifs bibliométriques par vague présentés dans le volume 3. Depuis le 1er janvier 2020, les comptes rendus de l'Académie des sciences sont également publiés en *open access diamond* et font partie du catalogue Mersenne, qui compte en tout 22 revues. Aujourd'hui intégrée au réseau européen EU-DML, la cellule Mersenne est sous-dimensionnée dans son action de soutien aux revues de son catalogue (interface éditoriale, service de composition et de mises aux normes).

RECOMMANDATION 6

Soutenir, consolider et développer la cellule d'édition scientifique Mathdoc et le catalogue Mersenne, dans le cadre de la politique d'édition vertueuse promue par l'Académie des sciences.

Comme rappelé au chapitre 2 de ce volume, la force des mathématiques françaises vient pour une large part de son organisation structurée et de ses outils intégrés permettant le partage des ressources et des bonnes pratiques. Si les mathématiques n'ont pas besoin d'équipements expérimentaux lourds, elles nécessitent l'aide de la puissance publique afin que le réseau des mathématiques françaises dispose d'outils, avec ses centres de conférences et ses plateformes d'édition, lui permettant de s'assurer une place majeure dans la compétition internationale. L'agence Maths-Entreprise AMIES et son réseau MSO, ainsi que certains labex régionaux hors idex-isite, déjà mentionnés dans la section précédente, sont aujourd'hui également fragilisés sur le plan financier par leur arrêt programmé, en 2024, dans le cadre de la fin du plan d'investissement d'avenir. Les enjeux propres à ces objets, maintenant fondamentaux dans le fonctionnement en réseau de la recherche française, seront présentés dans les sections suivantes, mais la recommandation générale de consolider et de pérenniser les outils ayant bénéficié des programmes PIA est générale. Ce constat appelle à réitérer la Recommandation 4 du paragraphe précédent.

La question du mode de financement, par l'État, de ces objets après 2024 dépasse l'objet de ce rapport, mais la légitimité d'un plan mathématique 2030, dépassant largement celle d'un simple soutien à ces objets structurants, est réelle et sera présentée en conclusion de ce rapport.

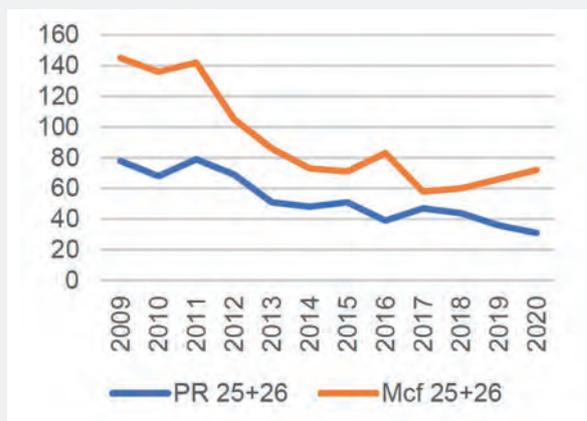
3.3 INFLATION DES MISSIONS VS BAISSÉ DU NOMBRE DE POSTES

3.3.1 UNE BAISSÉ INQUIÉTANTE DU NOMBRE DE POSTES ACADÉMIQUES EN MATHÉMATIQUES

En dépit du rayonnement international des mathématiques françaises, le nombre de postes ouverts aux concours d'enseignants-chercheurs en mathématiques est en baisse constante. Cette baisse, cumulée sur les sections CNU 25, CNU 26, CNU 25-26 et CNU mathématiques dans les autres sections, se chiffre à 60,2 % pour les PR et 50,3 % pour les MCF sur la période 2009-2020. Les ambitions que peuvent se donner les futurs mathématiciennes et mathématiciens qui viennent d'obtenir le doctorat ou sont dans leurs premières années de post-doctorat, sont de fait fragilisées par une baisse très importante des recrutements dans la recherche publique. Celle-ci, à son tour, prend le risque de ne pouvoir répondre à des enjeux qui parfois sont de son ressort, dans la recherche fondamentale comme dans la recherche appliquée. La France, de nouveau, risque d'être déclassée de sa position de leader mondial en mathématiques.

Figure 21

Évolution du nombre de postes PR et MCF ouverts en 25 et 26^{es} sections du CNU entre 2009 et 2020



Source postes.smai.emath.fr

L'impact, sur l'effectif, de la baisse du nombre de postes ouverts aux concours sur le nombre d'enseignantes-chercheuses et d'enseignants-chercheurs (EC) dans les sections 25 et 26 du CNU est considérable avec 3041 EC en 2020 contre 3294 en 2000, soit une baisse de 7,7 %

Tableau 8

Effectifs démographiques des sections du CNU¹⁸⁰

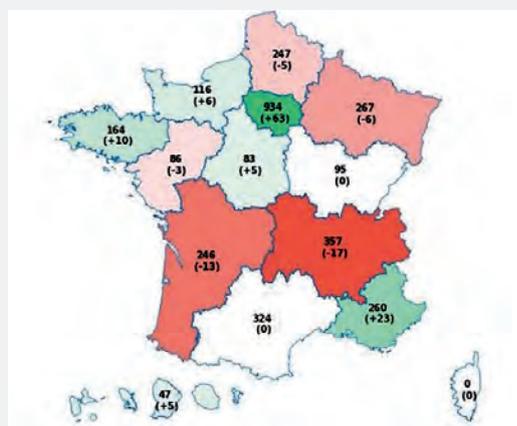
	Année 2000	Année 2020	Variation 2000-2020
Sciences	23 345	24 357	+4.3 %
Groupe Maths+Info	5 903	6 401	+8.4 %
CNU 25	1 567	1 260	-19.6 %
CNU 26	1 727	1 781	+3.3 %
CNU 25+CNU 26	3 294	3 041	-7.7 %

en vingt ans.¹⁸⁰ De plus, les prévisions du MESR¹⁸¹ confirment la tendance forte à la baisse pour les années à venir¹⁸². Les effectifs dans les organismes ont permis de modérer la baisse du potentiel de recherche avec par exemple un passage de 345 en 2005 à 382 chercheurs et chercheuses en 2020 dans la section 41 (anciennement section 1) du CNRS¹⁸³ intitulée Mathématiques et interactions des mathématiques.

aux enjeux sociétaux), les personnels de la recherche publique ont la charge de développer une recherche qui n'a parfois pas d'utilité immédiate ou visible, bien que le chapitre 1 de ce document ait démontré le caractère imprévisible des développements économiques qu'elle engendre, comme ceux concernant les ondelettes de Yves Meyer ou les récents développements en IA ou cryptographie. Il s'agit d'une décision politique majeure de soutenir

Figure 22

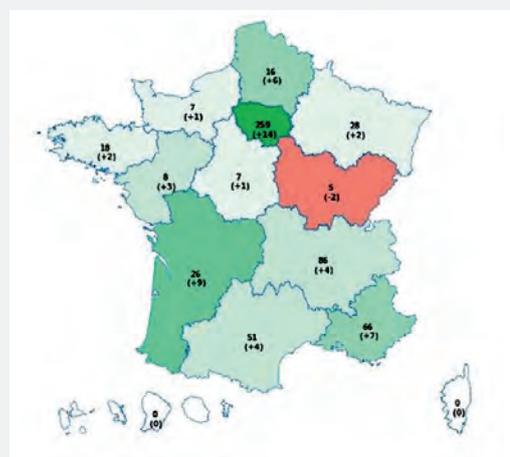
Évolution des effectifs enseignants-chercheurs (universités et écoles) par région entre vague 1 (2011-2015) et vague 2 (2016-2020)



Corpus Hcéres de laboratoires

Figure 23

Évolution des effectifs chercheurs (CNRS, Inria, Inrae) par région entre vague 1 (2011-2015) et vague 2 (2016-2020)



Corpus Hcéres de laboratoires

La recherche publique est complémentaire de la recherche privée. En effet, la recherche dans les laboratoires des universités et au sein des organismes ou des écoles a des contraintes méthodologiques et temporelles différentes de celles du secteur privé. En plus des nombreuses missions collectives (d'enseignement, de réponse

ou pas cette recherche académique alors même qu'elle rayonne encore aujourd'hui au plus haut niveau mondial.

3.3.2 DES MISSIONS DE PLUS EN PLUS LOURDES, DONT CELLES LIÉES À LA RECHERCHE SUR CONTRAT

Les mathématiciens doivent d'abord répondre au défi de la considérable augmentation du nombre d'étudiants (+28 % entre 2008 et 2018¹⁸⁴).

184. Repères et références statistique - Enseignement Formation Recherche - Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance 2019 (tableau p. 159) https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/document/depp-rers-2019_1162516.pdf.

Les charges d'enseignement sont devenues très lourdes, d'une part, du fait de cette augmentation de la taille des cohortes d'étudiants, d'autre part, du fait du report sur les enseignants de nombre de missions très chronophages de pilotage et de suivi administratif de l'enseignement.

Comme développé dans le chapitre 1, les thématiques de recherche ont également évolué en raison des enjeux sociaux et économiques, avec une explosion du besoin de mathématiques en interaction. Pour les mathématiciennes et les mathématiciens, le temps de l'adaptation à ces nouveaux défis manque, malgré une conscience aiguë des défis scientifiques à relever concernant les interactions avec le vivant, l'économie, l'énergie, la technologie ou la santé.

La mission d'ouverture vers la société et de dissémination, qui sera développée dans la section 3.6 et pour laquelle de nombreux outils ont été mis en place, nécessite également un investissement fort des personnels dans une société numérisée et ultra-connectée. Il s'agit par exemple de la gestion des structures comme la Maison des mathématiques et de l'informatique (MMI), ou bien la préparation des événements à l'IHP ou au CIRM à destination des jeunes, du public ou en faveur de la parité.

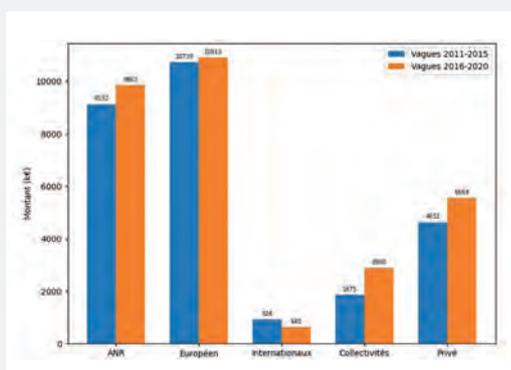
De même, les actions incitatives vers les entreprises déjà engagées ou qui seront recommandées dans les sections 3.4 et 3.5, ainsi que les collaborations dans ce cadre et leur pilotage prennent une part croissante du temps de travail des chercheurs et des chercheuses¹⁸⁵.

Enfin, une des grandes évolutions de la recherche de ces dernières années est le financement sur contrat, qu'il soit public ou privé. Dans la pratique,

185. Le problème de la reconnaissance de la diversité des missions et trajectoires sera développé en section 3.6.

Figure 24

Financements sur AAP, comparaison entre les vagues 1 (2011-2015) et 2 (2016-2020)

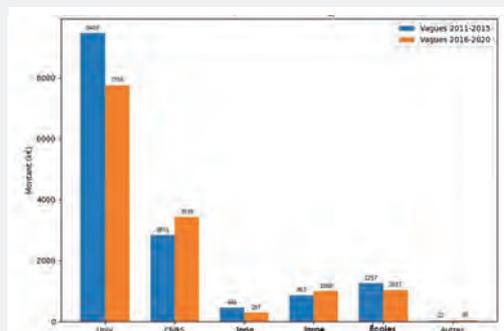


Source corpus Hcéres de laboratoires, annexe D

les mathématiciennes et les mathématiciens ont su s'adapter à ces nouveaux modes de financements sur AAP (de projets individuels à des grands projets structurants de type PIA). La France se situe d'ailleurs nettement en tête du palmarès en matière de réussite aux appels à projet de l'ERC en mathématiques, avec 4/12 bourses de type starting, 1/12 de type

Figure 25

Financements récurrents, comparaison entre les vagues 1 (2011-2015) et 2 (2016-2020)



Source corpus Hcéres de laboratoires, annexe D

consolidator et 2/9 de type advanced grants en 2017 par exemple. À l'échelle des laboratoires, l'augmentation, entre les deux périodes analysées, de la part de financement sur contrat dans les laboratoires du corpus est d'environ 9,4 %, quand la part de financement récurrent (établissements et organismes) a diminué de 8,9 %.

La forte baisse, ces dernières années, du nombre de projets soumis par les mathématiciennes et mathématiciens aux AAP de l'ANR interroge, tout particulièrement dans le domaine des mathématiques fondamentales et dans ceux relevant d'autres sections où les mathématiques sont pourtant présentes¹⁸⁶.

Si le fonctionnement sur contrat a ses avantages, liés à une harmonisation avec les pratiques internationales, l'identification et la rédaction de projets sont complexes et chronophages. Dans les réponses à un questionnaire effectué pour le rapport de prospective du conseil scientifique de l'Insmi du CNRS 2018, les personnels de recherche en mathématiques estiment consacrer environ 38 demi-journées à la seule rédaction de réponses à des appels à projets pour chaque période de cinq ans et par personnel de recherche.

186. Entretien entre l'ANR et le comité. Voir la fin de la Section 3.3.3 pour le chiffrage de cette baisse. L'ANR observe également peu de demandes de financements de thèses dans ces dépôts ainsi qu'une quasi-absence de projet de recherche collaborative avec une entreprise.

Tableau 9

Trois illustrations sur les financements récurrents ou sur AAP. Données issues de l'étude du corpus de laboratoires vagues 1 et 2. cf. Annexe D

	Période 2011-2015	Période 2016-2020
Financements récurrents	14 888 k€	13 567 k€
Financements sur AAP et autres	27 306 k€	29 885 k€
Total	42 194 k€	43 452 k€

De même, la charge d'évaluation des projets eux-mêmes a considérablement augmenté. Aux missions d'expertises d'articles, de thèses, d'habilitations à diriger des recherches ou de dossiers de recrutement, qui sont au cœur des métiers de la recherche, se sont ajoutées les multiples sollicitations pour expertise de projets individuels (ERC, ANR) ou structurels (dont Hcéres, PIA).

Parmi les éléments d'un contexte moins favorable à une recherche épanouie, la politique de non-promotion locale en vigueur au sein de la communauté mathématique (cf. Section 3.1), a engendré un sentiment de plafond de verre chez les maîtres et maîtresses de conférences, comme chez les chargées et chargés de recherche, en les contraignant à changer de site lors d'une promotion ou d'un recrutement au niveau rang A. Cette pratique a un effet préoccupant puisque, par exemple en mathématiques fondamentales, moins d'un maître ou d'une maîtresse de conférences sur trois atteint le statut de professeur des universités dans les 20 années qui suivent son recrutement¹⁸⁷. Cette politique a néanmoins été récemment infléchie, notamment par la création de postes de promotion locale au sein des universités, postes dits de repyramidage (l'objectif de l'ouverture de ces postes étant d'atténuer le déséquilibre en nombre de personnels entre le corps de maître de conférence et celui de professeur d'université).

Mentionnons enfin les salaires des personnels de recherche, relativement bas par rapport aux standards européens ou à ceux offerts dans le secteur privé.

3.3.3 DES EFFETS DÉJÀ VISIBLES SUR L'ACTIVITÉ ET LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Entre 2018 et 2021, on observe une baisse importante et inquiétante du nombre de demandes de délégations au CNRS déposées par les EC^{188 et 189}, et donc mécaniquement une baisse

du nombre d'accueils en délégation¹⁹⁰. L'Inrae, lors des échanges avec le comité, mentionne le même phénomène. Ces délégations permettent aux EC de dégager du temps pour la recherche en étant dispensés de charge d'enseignement pendant six mois ou un an, en contrepartie d'une compensation financière de l'organisme vers l'université ou l'école. On ne connaît pas explicitement les raisons de cette tendance à la baisse du nombre de candidatures mais les entretiens individuels menés par le comité indiquent que les charges pédagogiques et administratives de plus en plus lourdes incitent un grand nombre d'EC à renoncer à candidater à ces délégations afin d'éviter d'alourdir les charges des collègues devant les remplacer pendant leur délégation. Cette baisse du nombre de demandes de délégations peut aussi être liée à la crainte de mettre en danger l'équilibre atteint dans la construction d'un service d'enseignement convenable, dans un contexte de fortes sollicitations de toutes parts. En effet, au retour de la délégation, l'EC n'est pas assuré de retrouver les mêmes charges d'enseignement.

De même, les financements importants obtenus en mathématiques auprès de l'ANR sont en partie dus à la spécificité de la discipline: le taux de succès des projets Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs ces dernières années est de l'ordre de 30 % en mathématiques, bien supérieur à ceux d'autres champs disciplinaires. Mais il y a un risque fort pour que ce taux de succès ne puisse perdurer à l'avenir. Lors de la rencontre avec le comité, les responsables de l'ANR ont fait part de leur inquiétude pour les mathématiques. Ils ont évoqué une baisse importante du nombre de projets déposés ces dernières années. Ainsi, 89 projets en mathématiques ou interaction ont été déposés¹⁹¹ en 2019, 77 en 2020, 61 en 2021 et seulement 57 en 2022. Soulignant la polyvalence des mathématiques et leur présence dans de nombreux autres domaines de l'ANR (dont entre autres SHS, sciences du numérique, biologie-santé, système terre et environnement) avec des besoins spécifiques

187. Menger *et al*, *ibidem*.

188. https://smf.emath.fr/system/files/filepdf/G170-BD_0.pdf, p.52. et Bilan de l'Insmi 20117-2021, <https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/bilan-de-linsmi-2017-2021>.

189. Enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs.

190. https://smf.emath.fr/system/files/filepdf/G170-BD_0.pdf, p.51.

191. Ces projets sont examinés par le comité 40 de l'ANR. Ne sont pas comptabilisés les projets de collaborations bilatérales internationales.

en analyse numérique, en sciences des données, en cryptographie, l'agence appelle l'ensemble de la communauté mathématique à s'inscrire plus activement dans cette politique d'AAP, qui ne peut qu'être bénéfique pour la discipline puisque les budgets alloués aux différentes sections sont fonction de la pression constatée.

Enfin, au niveau du nombre de publications, dans un contexte de forte compétition internationale, les conséquences de la multiplication des tâches, assurées par un plus petit nombre de personnels, se font sentir. La France a un taux de croissance moyen du nombre de ses publications de 0,8 % entre 2014 et 2019, contre 3,8 % pour le monde sur la même période (voir Figure 26). Cette faible croissance est en particulier imputable à un recul du nombre de publications de -4,65 % entre 2016 et 2017 suivie d'une autre baisse de -1,78 % entre 2017 et 2018, le taux de croissance annuel étant positif sur les autres années. La Grande-Bretagne est d'ailleurs passée ponctuellement devant la France à l'occasion de la baisse enregistrée en 2018.

Certes les efforts français de restructuration de l'enseignement supérieur, tels les regroupements d'universités et d'écoles, ont pu avoir un impact réel sur le rayonnement scientifique français, mais ces efforts seront vains à court terme s'ils ne s'accompagnent pas de moyens humains conséquents pour s'adapter au nouveau fonctionnement de la recherche sur appels à projet et à la forte concurrence internationale. La recommandation suivante est adressée à **l'État qui dote les établissements autant qu'aux universités qui flèchent les postes.**

RECOMMANDATION 7

Adapter le nombre de postes d'enseignantes-chercheuses et d'enseignants-chercheurs aux missions croissantes d'enseignement, de recherche fondamentale et en interaction, ainsi qu'aux nouvelles pratiques liées à la recherche sur projet, afin de maintenir la qualité et la quantité de publications au niveau de la compétition internationale et éviter un déclassement déjà perceptible.

3.3.4 ÉVOLUTION ALARMANTE DES MISSIONS ET DES STATUTS DES PERSONNELS D'APPUI À LA RECHERCHE

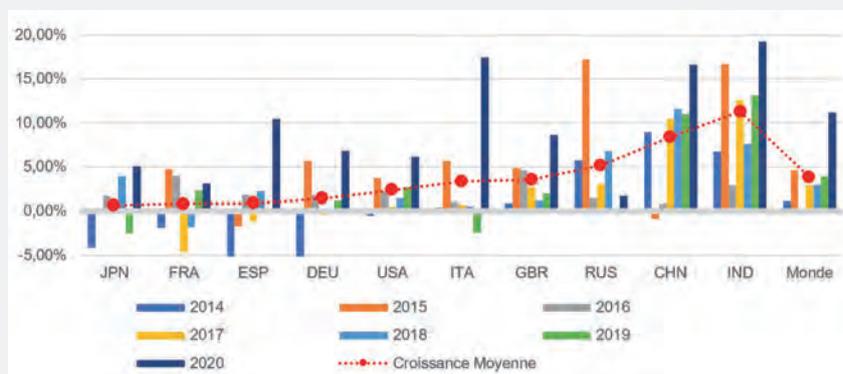
Au sein des laboratoires, les personnels d'appui ont également à s'adapter aux nouvelles pratiques et aux nouveaux enjeux de la recherche en mathématiques. Les personnels d'appui scientifique jouent déjà un rôle important dans la production scientifique qui s'accroît chaque jour avec la montée en puissance des ressources informatiques et numériques. Les missions des bibliothécaires et des documentalistes évoluent avec la publication sous forme numérisée des articles; les missions des informaticiens en charge des matériels et des réseaux évoluent également avec la mutualisation des moyens de calculs et des data centers. C'est d'autant plus d'actualité que la volonté de produire une science ouverte conduit à déposer articles et logiciels, développés lors des recherches, sur des sites où ils sont librement accessibles, activités dont le suivi

requiert des efforts continus. Dans les laboratoires, assurer la pérennité des développements logiciels nécessite la présence de personnels d'appui sur site. Les missions des personnels gestionnaires évoluent enfin avec une surcharge considérable de travail de gestion des projets ou des contrats. Ces mutations profondes posent la question de l'avenir et du bien-être des personnels d'appui, indispensables au bon fonctionnement des laboratoires.

Les personnels ingénieurs et techniciens des services d'appui sont répertoriés par branches d'activités professionnelles (BAP). Les personnels des laboratoires de mathématiques appartiennent majoritairement aux BAP E (informatique, statistique et calcul scientifique), BAP J (gestion et pilotage) et BAP F (culture,

Figure 26

Évolution du taux de croissance du nombre de publications par pays durant la période 2014-2019



Source Vol. 3 SNM OST.

communication, production et diffusion des savoirs). Au sein des laboratoires du corpus¹⁹², ce sont en tout 262 ITA et 226 Biats soit un total de 488 personnels permanents qui soutiennent les mathématiciennes et les mathématiciens dans leur activité de recherche. À ces personnels, il faut ajouter 140 personnels sous contrat à durée déterminée pour un total de 628 personnels d'appui, à mettre en regard des 3 831 personnels de recherche permanents, 2 262 doctorantes et doctorants, et 754 autres personnels de recherche non permanents dans ces laboratoires.

Un des enseignements de cette analyse de données inédites au sein des laboratoires du corpus Hcéres est la forte précarisation d'une partie des personnels d'appui, dont 22,3 % sont en contrat à durée déterminée. Ce taux est en particulier dû aux difficultés, liées au plafond d'emploi des établissements en autonomie, pour recruter par concours ces personnels, et la forte augmentation des besoins des unités de recherche en gestion liée à la hausse du financement sur contrat. Cette précarisation s'accompagne par ailleurs d'une augmentation des charges des titulaires qui doivent également former les personnels non permanents aux outils de gestion et de comptabilité dans les laboratoires.

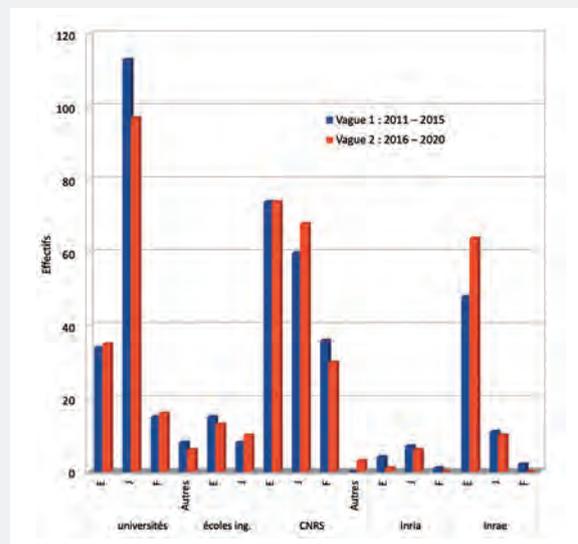
La montée en compétence, relative à l'utilisation des outils numériques, est également nécessaire pour l'ensemble des postes d'appui. Compte tenu du bouleversement des pratiques de la recherche concernant l'utilisation de documents numériques, la question du devenir des bibliothèques se pose aussi à la communauté, en même temps que celle de l'avenir des personnels en charge de leur animation. La réflexion, qui est déjà en cours, sur les bibliothèques doit prendre en compte l'enjeu majeur de la conservation partagée, accessible et libre de droits.

En liaison également avec l'autonomie des universités, le nombre de titulaires dans les services d'appui a fortement diminué dans les universités, en particulier en BAP J, qui forme le plus gros de la cohorte, avec une baisse pour cette BAP d'environ 15 %. Cette baisse est en partie compensée par un effort des organismes, en particulier du CNRS. Le CNRS, déjà très investi avec presque autant de personnels supports que de chercheuses et chercheurs dans les laboratoires, a ainsi augmenté ses effectifs BAP J de 15 %. Il y a donc une bascule entre effectifs des établissements, d'une part, et personnels temporaires ou des organismes, d'autre part, dans un contexte où les charges spécifiques à cette BAP ont considérablement augmenté, et nécessitent la maîtrise d'outils de plus en plus complexes.

192. Analyse des données issues de la vague 3 de laboratoires du Corpus Hcéres, Cf. annexe D

Figure 27

Évolution des effectifs par BAP et employeurs entre 2011-2015 et 2016-2020



Données issues de l'analyse des laboratoires du Corpus Hcéres vagues 1 et 2

Assumant son rôle de pilotage de la recherche mathématique française, l'Insmi du CNRS a lancé par ailleurs une réflexion¹⁹³ sur les problèmes liés à l'emploi et au bien-être des personnels supports, qui a aussi un impact direct sur la qualité de la recherche et les conditions de travail des mathématiciennes et des mathématiciens. La recommandation suivante s'adresse à l'ensemble des acteurs, mais en particulier aux universités et à l'État qui les dote.

RECOMMANDATION 8

Mettre fin à l'hémorragie de postes d'appui employés par les universités au sein des laboratoires, en particulier dans les services de gestion, comptabilité et pilotage. Persévérer, avec les personnels concernés, dans la réflexion sur le devenir des missions des personnels d'appui tous postes confondus.

3.4 L'AUBE DE LA STRUCTURATION MATHÉMATIQUES-ENTREPRISES EN FRANCE

La prise de conscience par les acteurs économiques de la nécessité d'une expertise de haut niveau en mathématiques au sein des entreprises est réelle, comme en témoignent les nombreuses prises de positions dans la presse

193. Rapport de l'Insmi, 2018.

et les médias en début d'année 2022¹⁹⁴ et les entretiens menés dans le cadre de ce rapport. Cette prise de conscience est due autant à la constatation de la baisse du niveau général en mathématiques en France qu'à l'urgence des besoins dans les entreprises.

Née de la nécessité de répondre aux besoins économiques et présentée en section 2.4, l'agence AMIES est dans une phase de transition. AMIES est financée, d'une part, par le labex éponyme dont les tutelles sont l'Insmi, l'université Grenoble Alpes et l'Inria à hauteur de 710 k€ (en 2019). Elle fonctionne, d'autre part, grâce à des personnels administratifs et ingénieurs CNRS et UGA¹⁹⁵. Le labex AMIES a été pérennisé en raison de son intégration à l'idex UGA, mais avec une incertitude sur les montants et la nature du soutien effectif de l'université Grenoble Alpes¹⁹⁶. Au-delà de cette question d'ordre technique, on peut s'interroger sur l'ambition d'AMIES et le dimensionnement de ce financement.

Figure 28

couverture du magazine Challenges du 30 mars 2022



Photo prise dans un centre commercial de Nantes.

Les dispositifs d'AMIES (PEPS, post-docs « entreprise », SEME, Forum Emploi Maths) répondent à un besoin du monde socio-économique en incitant les jeunes docteurs à s'en rapprocher. Néanmoins, l'impact de ces dispositifs reste modeste face aux besoins, avec par exemple seulement 200 entreprises impliquées, dont certes des acteurs majeurs du numérique, de l'énergie, de l'aéronautique, du transport ou des services financiers. Ce nombre d'entreprises est à mettre en regard de la fédération des entreprises Syntec, qui compte 3 000 groupes et sociétés françaises

194. Voir Figure 28 ainsi que quelques prises de positions rapportées en section 3.7.

195. Université Grenoble Alpes.

196. La question a été abordée lors de l'entretien du comité avec Udice, et le positionnement de l'UGA vis-à-vis d'AMIES reste à approfondir. Cf. liste des entretiens institutionnels en Annexe C.

spécialisés dans les professions du Numérique, de l'ingénierie, du conseil, de l'événementiel et de la formation professionnelle. Si le financement d'AMIES reste modeste, sa visibilité sera d'autant réduite au niveau national et a fortiori européen. Les écoles doctorales ne se sont pas encore saisies du modèle des SEME¹⁹⁷ qui pourrait leur servir de dispositif de référence pour emmener davantage de jeunes mathématiciens et mathématiciens, de formation fondamentale comme appliquée, vers les entreprises et valoriser ainsi le doctorat en dehors du monde académique.

RECOMMANDATION 9

Faire monter en puissance AMIES, qui reste à ce jour un proof of concept convaincant mais sous-dimensionné et au financement fragile et insuffisant.

De manière générale, la production et les interactions avec les entreprises restent réduites, qu'elles soient environnées ou non par AMIES ou par les structures locales liées à l'innovation dans les établissements. Entre 2017 et 2021, les laboratoires du corpus Hcéres mentionnent 22 créations de start-up, ce qui peut sembler assez faible, même si ces créations ne sont pas systématiquement mentionnées dans les rapports¹⁹⁸. Ce sont, par contre, 712 contrats en recherche et développement avec des acteurs privés qui sont comptabilisés durant la même période pour le même corpus de 3 831 personnels de recherche permanents des laboratoires du corpus Hcéres¹⁹⁹, montrant une implication significative des laboratoires dans les relations avec les entreprises. Concernant les brevets, la mention déjà faite de 245 publications françaises citées dans les dépôts de brevets²⁰⁰ est encourageante. La production logicielle, qui s'élève à 780 au cours de la période a, quant à elle, une plus grande maturité dont certains succès remarquables sont rappelés dans la section 2.6.

Le rôle de l'Inria dans cette prise en main des relations mathématiques-entreprises est majeur, avec par exemple la création d'équipes-projets avec des entreprises, comme celles montées en 2021 avec Naval Group à Bordeaux, ou avec EDF à Saclay. Le mode de fonctionnement très réactif de l'Inria est adapté aux enjeux et à la temporalité des entreprises. Le CNRS et les établissements ont également une action

197. Semaines d'étude mathématiques-entreprise, <https://www.agence-maths-entreprises.fr/public/pages/activites/SEME.html>.

198. Lors de son entretien avec le comité, l'Inria a fait part de son constat d'une forte augmentation de sollicitations de création de start-up ces dernières années et de l'intérêt croissant pour leur montage.

199. Cf. Tableau 2 : Effectif des laboratoires du corpus Hcéres. 200. Chiffres issus de l'analyse du corpus de revues de l'OST pour la période 2010-2020, Vol. 3 SNM OST.

émergente dans cette direction avec des structurations en lien avec les entreprises dans le cadre des labcom²⁰¹. Un exemple²⁰² est celui du partenariat avec Siemens dans le cadre de l'équipe transverse mathématiques-santé-entreprise (Siemens, CNRS, université de Poitiers, CHU de Poitiers). Des universités (par exemple, Paris Dauphiné²⁰³) ou des grandes écoles (par exemple, l'École polytechnique²⁰⁴) ont aussi mis en place des chaires d'enseignement et recherche, financées par des entreprises, souvent par mécénat. Néanmoins, ces partenariats structurés sont encore assez rares dans le paysage des laboratoires de mathématiques. Le faible taux de succès à l'appel à projets pour les chaires IA en mathématiques montre que l'investissement et la publicité sur la valeur ajoutée d'une approche mathématique sont à améliorer. Du côté des acteurs privés, on constate un début d'engagement en mathématiques, parfois même indépendant du système public de l'ESR. L'entreprise Huawei a par exemple ouvert un centre à Paris accueillant des chercheurs de renom.

De manière plus générale, l'imbrication public-privé, dans le cadre de contrats ou de structures, pour des bénéficiaires à court mais aussi à long terme, est encore relativement réduite dans le paysage de la recherche mathématique

Figure 29

Chiffres clés et success stories d'AMIES, 2020



Source <https://2020.forum-emploi-maths.com/>

française. Dans le cadre du soutien à long terme, le mécénat d'entreprises ou de personnes privées est culturellement très présent dans les pays anglo-saxons. En France ce modèle démarre timidement avec l'IHES, qui fut pionnière, suivie de grandes écoles et d'universités prestigieuses qui s'appuient sur des fondations qu'elles ont créées. Plus précisément, l'IHES bénéficie d'un financement récurrent privé sans contrepartie

201. <https://www.cnrs.fr/fr/accélérateur-dinnovation-le-cnrs-cree-son-200eme-labcom>.
 202. <https://i3m.labo.univ-poitiers.fr/>.
 203. <https://dauphine.psl.eu/recherche/chaieres-initiatives-de-recherche>.
 204. <https://www.polytechnique.edu/recherche/chaieres>.

avec 24 % de mécénat²⁰⁵ pour 20 % de fonds issus de structures publiques étrangères et 56 % de financement direct ou indirect de l'État. Le niveau d'excellence des mathématiques académiques françaises pourrait pourtant leur faire prétendre à plus de tels financements sous forme de mécénat, d'implication dans la recherche à court mais aussi long terme, par exemple pour lever les verrous mathématiques liés à la compréhension des algorithmes en IA. Si ces possibilités existent déjà, par exemple à travers certaines chaires dans les grandes écoles ou dans des fondations universitaires, elles sont encore mal connues, mal comprises et trop peu recherchées par la communauté mathématique française.

Tableau 10

Proportion de docteurs en mathématiques occupant un poste dans le secteur privé (trois ans après l'obtention du doctorat)

États-Unis ²⁰⁶ (2018)	France ²⁰⁷ (2020)
35 %	34,8 %

Pour une meilleure compréhension des compétences en mathématiques par l'ensemble des acteurs des entreprises, de l'économie voire de la société, une suggestion a été faite lors des entretiens menés par le comité, concernant l'opacité des intitulés de formations en mathématiques. Par exemple des intitulés de master mentionnant explicitement « énergie » ou « transport » peuvent être plus explicites que « équations aux dérivées partielles » pour des acteurs privés.

Aux États-Unis, le réseau BIG Math²⁰⁸ (soutenu par les sociétés savantes de mathématiques, AMS²⁰⁹, ASA²¹⁰, Informs²¹¹, MAA²¹², SIAM²¹³) a pour but de promouvoir les carrières dans les entreprises, l'industrie et le gouvernement auprès des étudiants et des départements de sciences mathématiques. Ces sociétés savantes promeuvent de multiples initiatives pour

205. En particulier de la Fondation Simmons. En 2021, Marilyn et Jim Simons, co-fondateurs de la Fondation Simons, se sont engagés à verser 25 M€ supplémentaires à l'IHES sur 10 ans. <https://www.ihes.fr/>.
 206. *Mathematical and Statistical Sciences Annual Survey - Report on the 2017-2018 New Doctorate Recipients*, Amanda L. Golbeck, Thomas H. Barr, and Colleen A. Rose.
 207. Note d'information du SIES 21-09 MESR.
 208. <https://bigmathnetwork.org>.
 209. *American Mathematical Society*, <https://www.ams.org>.
 210. *American Statistical Association*, <https://www.amstat.org>.
 211. <https://www.informs.org/>.
 212. *Mathematical Association of America*, <https://www.maa.org/>.
 213. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, <https://www.siam.org/>.

favoriser une meilleure interconnexion et une meilleure compréhension des compétences en mathématiques par l'ensemble des acteurs économiques, sociaux et politiques. Indiquons par exemple le programme BEGIN²¹⁴ à destination des jeunes ayant une formation mathématique qui peuvent envisager une carrière dans les secteurs des affaires, de l'entrepreneuriat, du gouvernement, de l'industrie et du secteur non lucratif. Le programme CASE²¹⁵ quant à lui présente à de jeunes scientifiques les rouages du monde politique fédéral pour mieux les préparer à être les avocats du monde de la recherche au cours de leur carrière. Ces programmes fonctionnent avec l'aide de la NSF²¹⁶, qui fournit environ 70 % des fonds fédéraux pour la recherche en mathématiques au sein des universités. D'autres agences fédérales, dont le Department of Energy, participent à cet effort ainsi que des fondations privées (par exemple la Simons Foundation) ou des généreux donateurs (comme Philippe et Claire-Lise Tondeur qui financent le réseau BIG Math).

En France, ce type d'interface est encore peu développé et n'a pas pour l'instant les mêmes moyens. Une des conséquences de la relative défiance française entre recherche publique et monde économique et social, qui s'atténue certes mais est toujours présente, est le choix binaire à faire entre carrière académique et carrière en entreprise pour certains seniors mathématiciens ou mathématiciennes, ou bien juniors en début de carrière. Certains laboratoires ont ainsi vécu une perte sèche de plusieurs cadres, directeurs de recherche ou professeurs d'université, partis dans la recherche et le développement privés. Maintenir un lien fort entre les deux mondes constitue un réel bénéfice mutuel. La recommandation suivante s'adresse à l'ensemble de ces acteurs, publics et privés.

RECOMMANDATION 10

Tisser un réseau facilitant les interactions public-privé en ayant une interface fluide avec les laboratoires, les structures publiques ou privées, sociales, politiques et économiques. Promouvoir les pratiques communes, le dialogue et une approche bienveillante, et engager une réflexion sur les soutiens mutuels. Améliorer la communication, la publicité et la compréhension des mathématiques. Réfléchir à des passerelles profitables pour l'ensemble des acteurs.

Concernant la compréhension des compétences mathématiques, le rapport *The future of*

214. *Business. Entrepreneurship. Government. Industry. Nonprofit*, <http://www.ams.org/profession/career-info/big>.
215. *Catalyzing Advocacy in Science and Engineering*, <https://www.ams.org/government/dc-case-fellowship>.
216. *National Science Foundation*.

*Work in Europe*²¹⁷, commandé par l'Union Européenne et publié en juin 2020, mentionne les mathématiques de nombreuses fois, dans une analyse liant métiers et compétences. Le rapport UNESCO sur la Science vers 2030²¹⁸, qui inclut une partie Innovation et métiers, cite également fréquemment les mathématiques²¹⁹.

Le problème des relations mathématiques-entreprises concerne aussi la jeune génération qui a le pouvoir de faire évoluer les mentalités. Elle est détaillée dans la section suivante, avec un certain nombre de recommandations spécifiques liées au doctorat et au post-doctorat.

3.5 FAIRE BOUGER LES LIGNES SUR LE DOCTORAT ET AU-DELÀ

3.5.1 UN DOCTORAT POUR QUOI FAIRE ?

Avec 2262 doctorantes et doctorants dans les laboratoires français de mathématiques du corpus Hcéres²²⁰, et un taux d'emploi de 95,9 % trois ans après l'obtention du doctorat²⁰⁷, la France a une activité de formation doctorale importante et de très grande qualité, alignée sur celle de sa recherche mathématique.

Pourtant, historiquement, la formation des élites a été confiée aux grandes écoles. Une conséquence est qu'aujourd'hui encore, dans le domaine de la formation scientifique française, le diplôme d'ingénieur a tendance à être perçu comme le nec plus ultra par la plupart des employeurs, par le grand public et donc aussi par les étudiants et leurs parents. Les représentants des écoles d'ingénieurs consultés sur ce point par le comité confirment d'ailleurs ce fait avec un regard encore distancié sur l'intérêt du doctorat français²²¹. Ce modèle historique a beaucoup apporté mais il montre aujourd'hui ses limites dans un monde ouvert et compétitif dans lequel le doctorat s'est imposé comme le diplôme ultime. En effet, les grands pays industrialisés s'appuient massivement sur leurs docteurs pour irriguer les secteurs de recherche et d'innovation. On peut noter, du reste, la désillusion de certains jeunes ingénieurs issus d'écoles nationales

217. Commandé par l'Union Européenne au cabinet McKinsey.
218. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246417>.
219. À noter que dans le rapport *Les Métiers en 2030*, publié en mars 2022 sous l'égide du Ministère du travail, plus de 650 000 postes à pourvoir par an sont envisagés, le mot « mathématique » n'apparaît pas et « intelligence artificielle » deux fois seulement. Néanmoins ce rapport se concentre sur les métiers et pas les compétences.
220. Source Hcéres, étude des laboratoires du corpus, vague 3, cf. Annexe D et E.
221. Voir la liste des entretiens institutionnels en annexe C.

prestigieuses, en découvrant que leur diplôme n'est pas reconnu dans nombre de pays étrangers.

Dans le courant des années 80, la France a certes aligné son diplôme de doctorat sur le standard international du PhD anglo-saxon. Cependant, hors du monde académique, l'impact du doctorat peine incontestablement à devenir dans notre pays l'égal de ce qu'il est à l'étranger. Les mathématiques jouent un rôle essentiel pour la sélection à l'entrée des écoles d'ingénieurs. Hormis dans quelques grands groupes, comme Airbus, EDF ou Michelin, aux yeux des recruteurs, un diplôme d'ingénieur vaut souvent expertise en mathématiques pour travailler dans un service R&D. C'est dans cet esprit qu'a été émise la Recommandation 10 de la section précédente.

À l'exception notable des thèses sous dispositif Cifre²²², dont profitent actuellement 15 % des doctorants en mathématiques et qui est appelé à monter en puissance dans les années à venir²²³, la valeur ajoutée du doctorat en mathématiques par

jeunes doctorantes et doctorants qui ne voient pas le doctorat comme un tremplin vers des postes de responsabilité en entreprise.

Tableau 11

Insertion des doctorants en France 3 ans après la thèse²²⁴

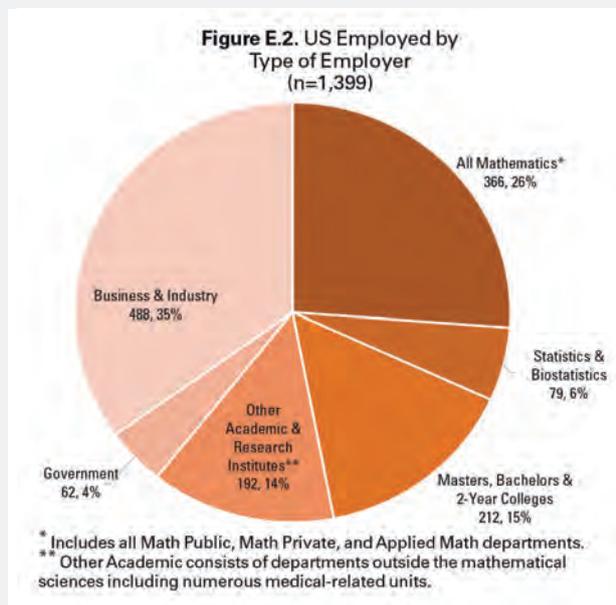
	Année 2014 (cohorte 2010)	Année 2020 (cohorte 2016)
Secteur académique ²²⁵	58 %	51,2 %
Secteur public hors académique	12 %	14 %
Secteur privé R&D	15 %	20,1 %
Secteur privé hors R&D	14 %	14,7 %

Or, la valeur ajoutée d'un doctorat en mathématiques existe. Si celui-ci s'est imposé comme un standard pour les recrutements scientifiques de haut niveau dans les entreprises à l'étranger, c'est en raison des qualités intrinsèques développées au cours du doctorat, en sus de l'acquisition des connaissances scientifiques. La préparation d'une thèse nécessite réflexion, persévérance, capacité à créer et imaginer des solutions originales, maîtrise de l'inconnu et des incertitudes. De surcroît, en mathématiques, démontrer un théorème met en œuvre d'autres qualités encore, comme segmenter un problème en sous problèmes, ou encore établir un plan de travail sur un temps long nécessitant souvent de privilégier une version simplifiée du problème principal avant de le résoudre dans sa plus grande généralité. À cet égard, il est regrettable de constater qu'en France très peu de scientifiques, et plus généralement de scientifiques de formation, occupent des postes de responsabilité au plus haut niveau de l'État.

Fort heureusement aujourd'hui, on constate une évolution de la perception par le monde socio-économique du doctorat en mathématiques, à l'image de celle qui existe aux États-Unis par exemple. Les besoins d'expertise en mathématiques dans les entreprises s'amplifient et se diversifient, comme mentionné dans les rapports de l'Union Européenne²¹⁷ et de l'Unesco²¹⁸. Depuis longtemps, de grandes entreprises de haute technologie comme EDF, Thales, Orange ou Safran ont exprimé ces besoins et collaborent régulièrement avec des laboratoires de mathématiques (dispositifs Cifre, contrats,

Figure 30

Répartition par employeur des docteurs en mathématiques à la sortie de leur thèse aux USA



(Source: Mathematical and Statistical Sciences Annual Survey - Report on the 2017-2018 New Doctorate)

rapport au diplôme d'ingénieur n'est pas toujours convenablement mesurée ou suffisamment lisible. Ce défaut de perception existe également dans le milieu académique et donc aussi chez les

222. Convention industrielle de formation par la recherche (Cifre).

223. Lors de son entretien avec le comité, l'ANRT a annoncé une augmentation de 50 % des dispositifs Cifre d'ici 2027.

224. SIES-MESRI RERS 2021- L'état de l'emploi scientifique en France, Rapport 2020, Tableaux et graphiques: EES20_II.4_Devenir_Docteurs_discipline_1341941.

225. L'intitulé « Secteur académique » désigne selon les critères du MESRI « les établissements d'enseignement supérieur et de recherche et les organismes et instituts de recherche, qu'ils soient publics ou privés » [Note d'information du SIES 21-09 MESRI]; on y retrouve certains EPIC (CEA, Onera, par exemple, etc.) mais pas l'Ifpen qui est intégré au secteur privé.

Figure 31

Le CEMRACS a été créé par Yvon Maday et Frédéric Coquel en 1996



Copyright S. Vairelles/CIRM

Destiné aux doctorantes et doctorants, il se déroule tous les étés, autour un thème. La première phase consiste en une ou deux semaines de cours en région parisienne et la seconde phase en une période de six semaines au CIRM à Luminy qui met à la disposition des participants ses locaux, sa bibliothèque et ses ordinateurs. Lors de cette seconde phase, chaque participant travaille sur un projet proposé par un industriel ou une équipe universitaire. Il y a également chaque jour un séminaire permettant aux participants d'échanger ou d'acquérir de nouvelles connaissances dans le thème considéré. Le CEMRACS a ainsi pour vocation de réunir des chercheurs en calcul scientifique et en mathématiques appliquées d'horizons divers (industriels et académiques) pour réaliser des avancées importantes dans le domaine des grands codes scientifiques traitant d'enjeux technologiques brûlants. En favorisant des interactions, le CEMRACS a également pour objectif de promouvoir des collaborations durables entre les différents partenaires.

chaires). Sous l'effet de la numérisation massive de la société, des entreprises de toutes tailles, issues de secteurs d'activités très variés, s'inscrivent dans ce mouvement. On constate ainsi une évolution du nombre de docteurs en mathématiques intégrant les secteurs du développement et de la recherche privée, qui est passée de 15 % à 20,1 % en 6 ans²²⁶. Les mentalités changent au sein des entreprises en raison de l'ouverture à l'international qui engendre plusieurs effets. D'une part, certains grands groupes français ont des cellules de recrutement multiculturelles qui n'hésitent pas à suivre les standards internationaux et privilégient le niveau doctorat. D'autre part, étant donné la qualité reconnue de la formation doctorale française en mathématiques, les entreprises internationales, dont les GAFAM, recrutent préférentiellement après le doctorat y compris en France. Enfin, il existe un nouveau bassin d'emplois pour des docteurs au sein de start-up, en particulier celles créées dans les laboratoires de mathématiques,

226. SIES-MESRI RERS 2021- *L'état de l'emploi scientifique en France*, Rapport 2020, Tableaux et graphiques : EES20_II.4_Devenir_Docteurs_discipline_1341941.

dont les habitudes de recrutement sont moins influencées par le poids du passé et qui évoluent dans des secteurs très concurrentiels où la capacité à innover est cruciale. Certes, cette évolution au sein des entreprises n'est pas uniforme mais le changement est inéluctable. Les entreprises françaises qui ne prendront pas le train en marche et ne se montreront pas assez attractives verront les meilleurs éléments leur échapper, avec le risque de voir ces jeunes talents s'expatrier.

Parmi les acteurs ayant compris l'intérêt d'une formation de docteur en mathématiques, et qui tirent profit de cette formation, se trouve aussi le ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse, qui compte une proportion de 36 % de docteurs parmi ses professeurs et professeurs de mathématiques en classe préparatoires aux grandes écoles²²⁷. Il a également ouvert un concours spécial de l'agrégation externe de mathématiques pour les docteurs. Les compétences et le recul acquis pendant la thèse, et pas seulement le recul scientifique, sont valorisables et valorisés.

3.5.2 FAIRE ÉVOLUER L'OFFRE DE FORMATION DOCTORALE

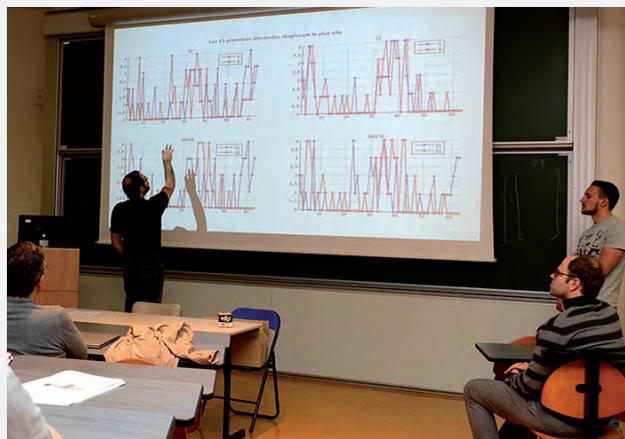
Si le dispositif de doctorat Cifre, présenté en section 2.4, rencontre un réel succès auprès des grandes entreprises et dans une certaine mesure auprès des PME, il ne suffit pourtant pas à établir un flux suffisant de partenariats fructueux entre celles-ci et la recherche. En effet, en raison des délais d'instruction des dossiers, ce dispositif est moins bien adapté à certaines start-up et PME, ou encore à l'administration publique, pour laquelle il n'est pas adapté du tout. Sur ce dernier point, les réformes en cours des grands corps de l'État ouvrent de nouvelles perspectives et le nouveau dispositif de Conventions de formation par la recherche en administration (Cofra) permet maintenant aux employeurs publics de l'État d'accueillir des doctorants. Le dispositif Cifre, quant à lui, ne suffit pas à couvrir les besoins de recrutement de docteurs dans les entreprises. En effet, en 2020, ces dispositifs ne concernent que 380 doctorantes et doctorants²²⁸. Enfin, ce dispositif implique une programmation en amont et une insertion du doctorant au sein de l'entreprise et concerne donc des jeunes dont le projet professionnel est clairement établi. D'autres vocations à aller vers le monde

227. Mengue et al, *ibidem*.

228. Ce nombre est de 239 sur le corpus Hcéres de laboratoires, vague 3 (cf. annexe D). La différence provient des restrictions liées à la constitution du corpus Hcéres de laboratoires, qui ne prend pas en compte les mathématiciennes et les mathématiciens dans les laboratoires centrés sur d'autres disciplines ou ne faisant pas partie du corpus.

Figure 32

SEME en 2015 à SupMicroTech, Besançon



Patrick Humbert, Satish Namah

socio-économique s'éveillent plus tardivement chez des talents formés en milieu académique dans les disciplines extraordinairement variées qui font toute la richesse des mathématiques.

Les doctorantes et doctorants ont encore trop peu conscience de la valeur ajoutée et des débouchés du doctorat; ils ne sont pas suffisamment sensibilisés aujourd'hui sur leurs atouts. Bien sûr il existe des parcours de licence ou de master permettant de faire découvrir le monde de l'entreprise aux étudiants, à l'instar de ce qui se fait dans les cursus des écoles d'ingénieurs. Les dispositifs de sensibilisation dans ces écoles, qui reposent sur des césures, des stages d'observation, ou d'initiation à l'entrepreneuriat, portent leurs fruits quant à l'intégration des futurs ingénieurs. Concernant le doctorat, l'ouverture au monde de l'entreprise en amont du doctorat est inhomogène et ne touche pas nécessairement le public des futurs doctorants. La recommandation suivante s'adresse en particulier aux pilotes des écoles doctorales, aux doctorantes et aux doctorants eux-mêmes, ainsi qu'à leurs encadrantes et encadrants et aux pilotes de la recherche.

RECOMMANDATION 11

Mettre en place des mécanismes d'incitation visant à l'insertion dans le monde socio-économique des doctorantes et des doctorants en mathématiques quel que soit leur domaine de recherche.

En particulier, développer des formations dans les écoles doctorales, sur le modèle des SEME et du CEMRACS, proposer des séjours de recherche dans les entreprises, les administrations, les collectivités territoriales, et créer un réseau national des doctorantes et des doctorants en mathématiques.

De manière concrète, il s'agit d'accompagner les doctorantes et les doctorants pendant la période de la thèse par différents dispositifs, proposés par les écoles doctorales, dans l'objectif de préparer une éventuelle insertion professionnelle en entreprise. Cet accompagnement a vocation à développer leur connaissance du monde de l'entreprise et à les amener à mieux prendre conscience des atouts personnels et professionnels dont ils disposent pour une insertion fructueuse dans le monde socio-économique. La mise en pratique de cette recommandation a également vocation à faire évoluer durablement la vision du doctorat par le monde socio-économique, à intensifier et à multiplier les synergies avec le monde de la recherche académique dans le but d'impulser ainsi un effet d'entraînement. Parmi les formations proposées par les écoles doctorales, une attention particulière pourra être donnée aux formations de type soft skills, management ou encore connaissance de l'entreprise. Les séjours de recherche ou les césures dans les entreprises pourront éventuellement s'accompagner d'une possibilité d'allongement du contrat doctoral en fonction du temps consacré à l'entreprise²²⁹. Enfin, la participation aux SEME et aux CEMRACS a vocation à être encouragée et valorisée dans le curriculum vitae des doctorantes et doctorants.

Afin de donner de la visibilité au doctorat auprès des entreprises, et dans le cadre des dispositifs proposés ci-dessus, une labellisation peut être envisagée (en s'inspirant par exemple d'une initiative similaire de la Cdefi²³⁰ sur le parcours compétences pour l'entreprise). L'existence d'un label incitera les écoles doctorales à mettre en place ces dispositifs et motivera les doctorantes et les doctorants à s'y investir. Ce travail de labellisation, autant que les contenus des formations proposées, doivent faire l'objet d'un travail en commun entre les écoles doctorales, les mathématiciennes et les mathématiciens seniors, et les doctorantes et les doctorants, par exemple dans le cadre des associations de doctorantes et doctorants existantes. L'Association nationale des docteurs, l'association Bernard Grégory²³¹, les entreprises de recrutement comme PhD Talent citées lors des entretiens du comité, ou bien les associations d'alumni, développées par les établissements universitaires ayant pris en compte cette problématique, ont souvent une réflexion très avancée sur les possibilités d'intégration et la promotion des docteurs dans le monde socio-économique. Les acteurs du réseau mathématique ont la capacité d'environner la mise en place de ces dispositifs, en particulier

229. La mise en place des conventions accompagnant les césures, évoquée en particulier avec l'ANRT lors des entretiens du comité, est délicate en raison de questions de propriété intellectuelle.

230. <http://www.cdefi.fr/activites/le-parcours-competences-pour-lentreprise>, entretien du comité avec la Cdefi.

231. <https://www.abg.asso.fr/>

l'agence AMIES (pour les SEME et CEMRACS), le réseau des entreprises dans l'écosystème des sociétés savantes (SFdS, SMAI, SMF), les fondations de mathématiques (FMJH, FSMP, FBP et Fdd-IHP), les labex régionaux, le réseau international Eumathsin Fraunhofer-Gesellschaft, ainsi que les centres de conférences (CIRM, IHP, IHES) pour l'hébergement lors de formations intensives ou de séminaires d'échanges maths-entreprise.

RECOMMANDATION 12

Labelliser les thèses pour les doctorantes et les doctorants ayant participé aux dispositifs de la Recommandation 11. Revaloriser les formations déjà existantes pour les intégrer au label.

Le nombre de 2262 doctorantes et doctorants dans les laboratoires français de mathématiques²³² est faible au regard des besoins du monde socio-économique, ce qu'atteste par ailleurs le très fort taux d'emploi de 95,9 % des docteurs et docteurs trois ans après l'obtention du doctorat et la présentation des besoins faite en section 2.4. Selon les chiffres du ministère, 34,8 % de ces docteurs intègrent le secteur privé. À titre d'exemple, l'Onera a mis en place une politique proactive depuis une dizaine d'années, en passant de 250 doctorantes et doctorants - toutes sciences confondues - accueillis en 2010 à plus de 350 en 2021, dont plus de 50 % intègrent le monde de l'entreprise²³³. À court terme, afin de mieux irriguer le tissu économique et social, il semble réaliste d'envisager une augmentation de 100 contrats doctoraux supplémentaires en mathématiques par an, durant une période de 10 ans, et une formation significative de 50 % des docteurs aux enjeux et pratiques du monde socio-économique. Cette formation concernerait également ceux sous dispositif Cifre, déjà sensibilisés de fait. Le vivier serait constitué d'étudiants français et étrangers ayant une formation en mathématiques fondamentales comme en mathématiques appliquées. Le potentiel d'encadrement existe et l'ensemble de la communauté mathématique (fondamentale et appliquée) doit se saisir de cet enjeu.

RECOMMANDATION 13

Créer 100 contrats doctoraux supplémentaires par an pendant 10 ans. Porter à 50 % le taux de doctorantes et doctorants en mathématiques bénéficiant d'une formation (significative et labellisée) aux enjeux et aux pratiques du monde socio-économique (dont les bénéficiaires de ces contrats ainsi que les doctorantes et doctorants sous dispositif Cifre).

232. Données issues de l'analyse du corpus Hcéres de laboratoires, vague 3, cf. annexe D et E.

233. Chiffres Onera, issus de l'entretien avec le comité.

3.5.3 FAIRE ÉVOLUER L'OFFRE POST-DOCTORALE EN FRANCE

Le modèle du recrutement sur contrat à durée déterminée des jeunes mathématiciennes et mathématiciens a envahi le monde de la recherche académique internationale : le post-doctorat fait aujourd'hui partie du paysage des emplois dans le secteur de la recherche. Il est une conséquence en France comme ailleurs de l'évolution du mode de financement de la recherche sur projets qui s'est à présent généralisé et constitue aujourd'hui 68 % du financement des laboratoires²³⁴. Ce type de contrat correspond à un certain besoin pour une recherche finalisée qui nécessite de mobiliser des énergies sur un temps court. Il s'agit aussi, pour les intéressés, non seulement d'une offre de formation, mais surtout d'une expérience professionnelle complète, certes sous contrat à durée déterminée. Ce modèle, par contre, est moins adapté au temps plus long de la recherche en sciences en général et en mathématiques en particulier. Les conditions du contrat sont aujourd'hui d'une qualité insuffisante pour permettre de se projeter sur un emploi plus pérenne. En particulier, une durée longue du contrat correspondrait mieux aux enjeux de la mission, sachant qu'un jeune occupant un de ces emplois va consacrer beaucoup de temps en fin de contrat à chercher une offre pour rebondir. Lorsqu'il est subi, l'enchaînement de post-doctorats ou de postes temporaires (type ATER) sur de courtes périodes est anxiogène pour les jeunes et décourageant dans un contexte de pénurie de postes académiques et à un âge où les contraintes familiales commencent à s'imposer.

Il n'existe pas aujourd'hui en France de modèle unique de durée pour un contrat post-doctoral en mathématiques, la règle étant essentiellement que la durée est adaptée au budget alloué par l'appel à projets, que celui-ci émane de l'ANR, de l'ERC ou de toute autre source. Dans plusieurs pays étrangers (Allemagne, Canada, États-Unis, etc.) sont proposés des contrats post-doctoraux non permanents d'une durée plus longue que l'année ou les deux années habituellement pratiquées en France, avec éventuellement une charge légère d'enseignement à la clef. L'offre française actuelle n'est pas compétitive à l'international, en termes de durée autant qu'en terme de salaire, et constitue un frein au recrutement des meilleurs éléments ; néanmoins, quelques tentatives expérimentent avec succès des recrutements de post-docs de trois ans (par exemple, le labex CIMI de mathématiques et informatique de Toulouse et à la FMJH de Paris-Saclay).

234. Cf. Tableau 9.

Afin de répondre à cette problématique de début de carrière, une possibilité est de proposer aux docteurs et aux docteurs des postes de transition moins contraignants avec des mécanismes qui permettent aux jeunes de développer sereinement de nouvelles compétences. Ces postes de recherche au sein d'un laboratoire de mathématiques doivent permettre de développer un projet de recherche dans la durée. Ce dispositif répond à la compétition internationale, en donnant les moyens à la France d'attirer des talents et en proposant des postes qui ont leur équivalent à l'étranger mais qui n'existent qu'en très faible nombre dans notre pays. La publicité de l'appel à candidature a vocation à suivre les standards internationaux, en particulier à avoir une forte visibilité nationale et internationale et un calendrier permettant de concurrencer les grandes institutions qui recrutent des post-doctorants et des post-doctorants en mathématiques de par le monde²³⁵. La recommandation suivante répond à cet enjeu.

RECOMMANDATION 14

Créer des postes de lecteurs et lectrices de trois ans en laboratoire, avec une légère charge d'enseignement et un salaire compétitif à l'international.

Tout comme pour le doctorat, il apparaît également essentiel de développer une offre post-doctorale en lien direct avec le monde socio-économique. L'expérimentation, dans le cadre d'AMIES, d'une dizaine de contrats post-doctoraux d'un an associant une entreprise pour un recrutement dans un laboratoire est concluante. C'est une façon pertinente d'utiliser un contrat court qui prédispose un post-doc à un futur recrutement dans une entreprise. Il paraît pertinent de développer ce dispositif qui permet une transition naturelle entre la recherche académique et le monde de l'entreprise. Ces post-doctorats s'inscriront dans le cadre d'un partenariat étroit entre un laboratoire de mathématiques et une entreprise, sur un projet bien défini au préalable. Ils doivent pouvoir attirer des candidats de qualité y compris à l'international et conduire éventuellement à un emploi dans le secteur privé, compte tenu de la demande de recrutement très forte de jeunes mathématiciens et mathématiciennes dans ce secteur. La présence de ces post-doctorats « maths-entreprise » est également en phase avec la construction de relations durables entre laboratoire d'accueil et entreprises. Un changement d'échelle s'impose, à la fois en termes de flux et de visibilité, par rapport à l'expérimentation menée dans le cadre d'AMIES.

235. Le site international <https://www.mathjobs.org/> par exemple, payant mais porté par l'AMS, offre une publicité internationale.

RECOMMANDATION 15

Créer un flux de post-doctorats à l'interface entre laboratoires et entreprises, attractifs pour les jeunes mathématiciennes et mathématiciens français et étrangers, et considérés comme une chance par les entreprises.

Comme pour la mise en place des recommandations liées au doctorat en section précédente, le réseau des mathématiques françaises est un atout, dont en particulier AMIES. Le réseau MSO des maisons régionales de la simulation et de l'optimisation a les compétences pour l'orientation et la définition des sujets. Les entreprises en relation avec les sociétés savantes et les fondations pourront également aider au lancement et à la publicité de ce dispositif. Les associations de docteurs, d'une part, les organismes et les établissements grâce à leurs cellules innovation, d'autre part, ont vocation à être partie prenante de ce dispositif.

3.6 UNE COMMUNAUTÉ QUI DOIT CONTINUER À S'OUVRIR

3.6.1 COMBATTRE L'ISOLEMENT RELATIF DES MATHÉMATIQUES ET DES MATHÉMATIENNES ET MATHÉMATIENS

Depuis plusieurs décennies, la proportion de la communauté mathématique française qui s'ouvre aux interactions, à la société et l'économie ne cesse de croître²³⁶. En témoigne le foisonnement des interactions à l'œuvre décrit dans le volume 2 (Vol. 2 SNM ADIS) de cette synthèse; interactions développées non sans difficultés en raison, en particulier, des différences de pratiques entre les domaines scientifiques et de la lenteur à faire évoluer l'offre de formations multidisciplinaires. En atteste aussi la grande variété des actions de médiation et d'interactions avec l'économie décrites dans les sections 1.3 et 1.4.

Cependant, ils restent de nombreux verrous à faire sauter, qu'il est important d'identifier et d'analyser.

Comme il a été montré en section précédente, l'image du doctorat évolue doucement mais favorablement au sein des entreprises qui expriment des besoins de recrutement à haut

236. Par exemple, la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI) a été créée en 1983.

niveau de compétence en mathématiques. Le recrutement en entreprise pendant ou après un doctorat doit devenir naturel et valorisant aux yeux de l'ensemble des jeunes mathématiciens et mathématiciennes.

Se détacher des questions scientifiques purement académiques est aussi un effort à faire de la part des mathématiciennes et des mathématiciens seniors. Ainsi, la quasi-totalité des équipes dites de mathématiques fondamentales de la vague B2022 ont mentionné comme inexistantes leurs relations avec les entreprises dans leurs dossiers d'autoévaluation. En fait, la communauté mathématique toute entière peut paraître isolée du monde extérieur, en raison même de l'existence d'un réseau très structuré et de pratiques originales qui ont pour tendance de singulariser les mathématiques au sein de la recherche académique française et des sites d'exercice. Pour contrer ce risque d'isolement au sein du monde de la recherche plusieurs initiatives ont vu le jour. Ainsi, l'Insmi a ajouté un « i » à son nom pour signifier que les interactions sont essentielles en mathématiques. Au niveau local, le conseil scientifique de l'Insmi²³⁷ a émis la recommandation aux EC de participer aux conseils centraux des universités. Plusieurs labex ou GDR multithématiques ont été créés, de même que certains regroupements de laboratoires dont le Centre Borelli réunissant mathématiques et sciences du vivant. Au sein du corpus Hcéres de 73 laboratoires, utilisé dans ce document, 13 se déclarent, lors de leur évaluation par le Hcéres, en interaction avec d'autres domaines des sciences et techniques, avec les sciences du vivant ou avec les sciences humaines et sociales comme, par exemple, les laboratoires CAMS et ENAC Recherche. Le présent rapport souligne les efforts, déjà faits et qui restent à faire, concernant les interactions avec les autres sciences, la société et l'économie.

Au-delà de la position des mathématiques dans le monde académique ou socio-économique, c'est l'image même des mathématiques dans la population qui est un frein. Faire évoluer cette image est une nécessité et relève tout autant du comportement de la communauté des chercheurs et chercheuses que de celle des formateurs au niveau secondaire en particulier.

Dans chaque collège et chaque lycée français, on trouve des enseignantes et des enseignants de mathématiques qui ont côtoyé, souvent pendant plusieurs années, des chercheuses et des chercheurs actifs en mathématiques, en préparant une licence, un master, les concours de recrutement ou encore un doctorat pour certains.

La formation qu'ils y ont acquise, enrichie de la prise de conscience de la beauté et l'universalité des mathématiques, leur permet ensuite de nourrir leur enseignement et de contribuer positivement au rayonnement de cette discipline auprès des élèves. L'enseignement des mathématiques s'adresse aussi à des étudiantes et des étudiants qui s'en éloigneront demain; c'est une responsabilité collective des mathématiciennes et des mathématiciens, dans la mesure où il confère aux principes universels de rigueur et d'analyse de cette science un ancrage fort dans la société. S'ils reçoivent un enseignement de qualité, les futurs acteurs économiques se souviendront des mathématiques et de leur importance. Dans le même temps, l'interdisciplinarité est encore peu présente dans l'enseignement secondaire, comme elle a été peu présente dans la formation des enseignants actuels. Un travail conjoint de mise en perspective des mathématiques au XXI^e siècle doit être fait.

La formation tout au long de la vie est donc également un des nouveaux défis pour les mathématiciennes et les mathématiciens, qui s'en sont encore peu saisis. Il s'agit d'un enjeu essentiel pour la compétitivité des entreprises françaises: les connaissances de leurs cadres doivent rester à jour dans des domaines qui évoluent très vite. Les diplômes universitaires (DU) constituent une réponse universitaire à cet enjeu. Le CNRS propose aussi des formations de courtes durées dispensées par les acteurs de la recherche partout en France, notamment en modélisation, simulation et données, connaissance et apprentissage²³⁸. Les grandes écoles se saisissent aussi de cet enjeu, développant une offre de formation aux entreprises²³⁹. Ce qui est vrai pour la formation des cadres est tout aussi vrai pour la formation des maîtres qui, au-delà des sciences du numérique, doit prendre en compte de manière plus réactive les bouleversements de l'interdisciplinarité et de la modélisation scientifique.

3.6.2 MILITER POUR LA RECONNAISSANCE DE LA DIVERSITÉ DES MISSIONS ET TRAJECTOIRES

La promotion de la science et les actions relatives aux interactions avec les entreprises et la société font partie des missions des enseignantes-chercheuses et des enseignants-chercheurs. Malheureusement, ces activités restent encore peu prises en compte dans la définition des profils de postes et pour l'évaluation des carrières.

237. Rapport de prospective, conseil scientifique de l'Insmi mandat 2014-2018

238. <https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/formations-entreprises-en-mathematiques>.

239. <https://www.3af.fr/news/safran-university-1680>.

Par exemple, il a fallu attendre 2019 pour qu'un poste de professeur soit mis au concours de recrutement avec un profil lié à la diffusion des mathématiques²⁴⁰. C'est incontestablement le signe d'un certain changement et de la prise de conscience par la communauté de l'importance de ces activités.

La question des moyens humains est essentielle, dans la mesure où ces missions reposent essentiellement sur le volontariat et la disponibilité des mathématiciennes et des mathématiciens. La force des équipes, des associations ou des structures qui les portent réside dans l'enthousiasme et le dévouement de leurs membres, leur faiblesse dans leur manque de moyens à la fois humains et financiers.

Néanmoins, malgré le temps et l'énergie passés par les mathématiciennes et les mathématiciens à ces activités, et bien que la mission de diffusion de la culture scientifique soit inscrite dans la loi, elles ne sont essentiellement pas prises en compte dans le suivi de carrière et leur référentiel d'évaluation n'est pas clairement défini. Il existe pourtant un réseau de personnalités reconnues auxquelles les comités de sélections, les CNU ou les sections du comité national pourraient adresser des demandes d'expertise. La plupart des comités de sélection ou les instances comme le CNU et les sections du comité national disposent en leur sein des compétences nécessaires pour évaluer à leur juste mesure les activités de diffusion des mathématiques.

Les modes de médiation et de diffusion scientifique en mathématiques ont été mis en relief dans la section 1.4 de ce rapport. Cette médiation nécessite un investissement fort de la part des chercheurs, des chercheuses, des enseignantes-chercheuses et des enseignants-chercheurs qui s'impliquent dans ces missions. Qu'il s'agisse d'associations de petite taille, de structures plus importantes comme la MMI, l'IHP, Audimath, la fondation Blaise Pascal, voire Universcience²⁴¹, ou bien des sociétés savantes, toutes doivent faire preuve de créativité pour trouver des financements en complément de leurs ressources, qu'elles soient d'ordre public ou privé. Pourtant, avec, par an, environ 355 actions de diffusion de la science, d'interaction art et science ou d'interventions dans les médias²⁴², la production des laboratoires dans ce domaine est importante. C'est le signe d'une maturité de la communauté vis-à-vis des enjeux de l'explication de la science mathématique et de ses interactions

240. Ce poste mis au concours par l'École normale supérieure de Lyon est paru sous l'intitulé « Mathématiques-Enjeux éducatifs ».

241. Universcience regroupe le Palais de la découverte et la Cité des sciences et de l'industrie. <https://www.universcience.fr/fr/accueil>.

242. Données issues de l'analyse des laboratoires du corpus Hcéres, vague 3 (D2019 à C2023) Cf. annexe D.

avec la société, le grand public, les jeunes et l'ensemble des acteurs socio-économiques.

Dans ce contexte de développement et d'organisation de la communauté en matière de médiation autour des mathématiques, a émergé, ces dernières années, une problématique de formation des médiatrices et des médiateurs, qu'ils soient issus des mathématiques ou du domaine de la médiation scientifique. Apparaît également, porté par la maison des mathématiques et de l'informatique (MMI) à Lyon, le souci d'une réflexion didactique et épistémologique sur l'activité de diffusion en elle-même. On peut trouver un signe de cette prise de conscience dans l'organisation des journées Jam²⁴³ de l'IHP (Jam du chaos en 2019, Jam Maths-Santé en 2021) ainsi que du week-end Wecam autour des travaux d'Alan Turing prévu à la MMI en 2022. Dans les deux cas, il s'agit de réunir des actrices et des acteurs de la diffusion, pour prendre le temps de construire de nouvelles activités.

Les pratiques de diffusion et de dissémination évoluent également beaucoup ces dernières années, en partie à cause de la montée en puissance des réseaux sociaux. Le succès considérable des chaînes YouTube, par exemple (cf. section 1.4), pousse à une réflexion sur la reconnaissance et la prise en considération, par les institutions académiques ou les mathématiciennes et les mathématiciens eux-mêmes, des nouveaux médias de dissémination scientifique.

Les relations avec le monde socio-économique sont, elles aussi, multiformes et leur intérêt majeur a fait l'objet des sections 1.3, 3.4 et de la Recommandation 10. Les missions des chercheurs, des chercheuses, des enseignantes-chercheuses et des enseignants-chercheurs liées à ces activités incluent la définition de formations adaptées, la gestion de stages en entreprises, la veille technologique, le suivi des interactions avec les acteurs économiques. Elles incluent aussi la formation des personnels eux-mêmes et l'acquisition des savoirs propres au secteur privé, souvent environnés par les services innovation des universités, des écoles et des organismes, par exemple pour la création de start-up. Elles englobent enfin le développement de logiciels ou de packages, qui peuvent souvent être mis à disposition de l'ensemble des acteurs publics ou privés.

On peut dire aujourd'hui que toutes ces activités en relation avec la société et l'économie sont entrées dans une période de professionnalisation. Elles vivent un moment charnière entre une période où elles reposaient sur la bonne

243. <http://www.ihp.fr/fr/toutpublic/jamduchaos>.

volonté et l'enthousiasme, et un temps où leur reconnaissance professionnelle demande de construire une grille d'appréciation qui ne peut que s'appuyer sur une réflexion didactique et épistémologique.

RECOMMANDATION 16

Prendre en compte, dans la carrière des mathématiciennes et des mathématiciens, les actions vers la société et l'économie. Mettre en place des méthodologies d'évaluation de ces activités. Consolider le financement des structures du réseau des mathématiques françaises concernées par ces activités.

3.7 L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES DANS LE PREMIER ET LE SECOND DEGRÉ

Les questions relatives à l'enseignement au niveau primaire et secondaire peuvent sembler éloignées de l'objectif de ce rapport de synthèse. Néanmoins, les membres du comité rédacteur de ce rapport considèrent qu'elles doivent aussi être mises en perspective avec celles centrées sur la recherche en mathématiques. En effet, les jeunes générations seront les étudiantes et les étudiants dans quelques années puis, pour certains d'entre eux, les scientifiques de demain. Il est donc légitime que les évolutions actuelles (programmes, acquis, flux d'élèves, etc.) interrogent la communauté mathématique d'aujourd'hui. Par ailleurs, les universitaires français ont, parmi les missions qui leur sont confiées, celle de former les futurs enseignantes et enseignants du primaire et du secondaire. Ils jouent un rôle essentiel dans leur formation initiale ainsi que dans les jurys de concours de l'éducation nationale. Ils sont aussi les mieux placés pour faire le pont entre le monde de l'enseignement et celui de la recherche. Enfin, il y a un hiatus croissant, développé en particulier dans la section 3.3, entre leur activité de recherche, toujours plus exigeante et animée par des interactions foisonnantes, et la culture scientifique des jeunes générations qui intègrent le monde de l'enseignement supérieur.

Les enquêtes Pisa²⁴⁴ et Timss^{245, 246} se succèdent et montrent avec une régularité inquiétante un décrochage en mathématiques des élèves français. Ce phénomène concerne l'ensemble des élèves et n'épargne pas les meilleurs d'entre

eux²⁴⁷. La récente réforme du lycée, vivement discutée depuis quelque temps, y compris dans les médias et les instances économiques, risque d'amplifier les manques en formation scientifique, tout particulièrement en mathématiques, des futurs professeurs des écoles²⁴⁸, des enseignants du secondaire et donc aussi à terme des acteurs économiques. La mission mathématique²⁴⁹, menée en 2018 par Cédric Villani et Charles Torossian, a dressé un diagnostic précis de la situation des mathématiques dans le paysage scolaire français. En insistant sur le besoin de renouveler le dialogue entre les mathématiques et les autres disciplines, elle a proposé un certain nombre de mesures du primaire jusqu'au lycée. La formation initiale en mathématiques, dans le primaire, le secondaire ou le supérieur est donc un enjeu stratégique pour demain. La mission mathématique a aussi mentionné la nécessité d'une formation continue de qualité des enseignantes et des enseignants, ce qui n'est pas sans lien avec la nécessité de vulgariser les fruits de la recherche en mathématiques auprès de celles et ceux qui assurent les apprentissages de la discipline auprès des plus jeunes.

Par ailleurs, les flux d'élèves scientifiques au lycée, avec un bagage mathématique suffisant pour leur permettre de poursuivre des études scientifiques, sont en forte baisse^{250, 251, 252}. Le module d'enseignement scientifique de 2 heures de la voie générale, mis en avant ces dernières années par le ministère, ne contient pratiquement pas de mathématiques : comme le montre une note récente de la direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP), ses intervenants sont essentiellement choisis pour des considérations de préservation de postes dans les établissements, et seuls 6 % d'entre eux sont des enseignants de mathématiques. Parmi les élèves qui abandonnent les mathématiques dès la classe de première, celles et ceux qui ont pour objectif de devenir professeur des écoles accumulent des manques qui ne seront jamais comblés ; la conséquence aisément prévisible est l'effondrement déjà constaté du niveau scientifique des élèves du primaire. La formation initiale au sein des instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation (INSPE) ne peut, en quelques mois, mettre à niveau en mathématiques les futurs enseignantes et enseignants des écoles,

244. PISA 2018 : https://www.oecd.org/pisa/PISA2018%20Resumés_I-II-III.pdf.

245. TIMSS 2019 : <https://www.cnesco.fr/fr/comprendre-les-resultats-en-mathematiques-des-eleves-en-france/>.

246. DEPP, Notes d'information de la DEPP 20.46, 20.47 et 20.48 sur l'enquête TIMSS 2019.

247. Étude dans « *Variations, Le webzine des Ensaie-Alumni* », Colombe Saillard, 2022, <https://variances.eu/?p=6685>.

248. <https://www.education.gouv.fr/programmes-et-horaires-l-ecole-elementaire-9011>.

249. *Mission mathématique, 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*, rapport 2018.

250. Cf. Figure 33.

251. DEPP 21.37, nov. 2021, Les effets des choix des élèves en lycée général et technologique sur les services des enseignants.

252. <https://www.education.gouv.fr/la-rentree-2021-des-choix-d-enseignements-de-specialite-en-premiere-et-terminale-generales-326509>.

dont un grand nombre n'ont pratiquement pas de formation scientifique depuis la fin de la seconde. Une formation continue de qualité et fortement soutenue pourrait pallier cette difficulté, à condition qu'elle s'inscrive dans la durée et dans une stabilité raisonnable des programmes.

La réforme du lycée a aussi mis à mal les efforts menés depuis 20 ans pour atténuer le déséquilibre hommes-femmes dans les filières scientifiques²⁵³. Dans un communiqué commun, les sociétés savantes et d'autres associations qui se consacrent à l'enseignement des mathématiques se sont alarmées, chiffres du ministère à l'appui, de l'effondrement en seulement deux ans du nombre de lycéennes suivant les spécialités mathématiques. L'Inspection générale de l'enseignement supérieur et la recherche (IGESR) elle-même s'est émue de ces chiffres, proposant des mesures réglementaires fortes pour inverser cette dynamique.

La voie d'accès à la recherche de haut niveau échappe encore en partie à ces inflexions récentes, même si l'ensemble des lycées, y compris les plus cotés, doivent maintenant suivre la procédure nationale Affelnet d'affectation en fin de 3e. Les lauréats des concours d'entrées aux grandes écoles, par exemple, restent issus de milieux socio-économiques aisés, comme cela a été analysé dans des études récentes²⁵⁴. Ce n'est pas un signe de bonne santé puisque l'on se prive ainsi des ressources d'une majorité de la société.

L'acquisition d'une culture mathématique est un travail de très longue haleine. Pour les enseignants, le défi vise à donner des bases suffisantes à toutes et tous pour s'insérer dans le monde d'aujourd'hui, tout en proposant à celles et ceux que les sciences attirent un bagage assez solide pour poursuivre dans cette direction. L'enjeu est d'autant plus difficile que les mathématiques occupent dans l'inconscient collectif de notre société une place ambiguë car utilisées comme outil de sélection. Les hommes et les femmes politiques, dont un grand nombre est peu formé à la culture scientifique, ont une part de responsabilité dans cette situation. Un ancien ministre de l'éducation nationale, Luc Ferry déclarait ainsi sur LCI le 15/02/2018 : « La vérité c'est que, dans la vie quotidienne, les maths ne servent strictement à rien », poursuivant pour justifier son propos « dans la vie quotidienne, on utilise l'argumentation alors qu'en maths on démontre, on n'argumente pas ». La complexité

253. Réforme du lycée et mathématiques, 25 ans de recul sur les inégalités filles/garçons, Adirem, APMEP, ARDM, CFEM, Femmes et Mathématiques, SFdS, SMAI, SMF, UPS, Communiqué du 25 janvier 2022, ainsi que la publication du collectif Maths&Sciences, Réforme du lycée : vers des sciences sans filles?, octobre 2022.

254. Les concours sont-ils neutres ? Concurrence et parrainage dans l'accès à l'École polytechnique, Pierre François et Nicolas Berkouk, Sociologie 2018/2 (Vol. 9), pages 169 à 196.

du monde d'aujourd'hui prouve que la rigueur du raisonnement et la prise en compte des faits observés, opposées aux arguments inexacts et aux vérités alternatives, demandent au contraire à être largement partagées dans la population. Le 15 juin 2019 sur France Inter, la présidente du Conseil supérieur des programmes, Souad Ayada, expliquait également pour défendre les bouleversements des nouveaux programmes du lycée que « le niveau exigible en mathématiques de « l'honnête homme » est censé être acquis à la fin de la seconde ».

Figure 33

L'effondrement des mathématiques au lycée

En 1993, année qui a vu la fusion des filières scientifiques C, D et E, le taux global d'accès au bac était plus faible qu'aujourd'hui et la classe d'âge moins importante. La série C (mathématiques et sciences physiques) accueillait 78 000 élèves, la série E (sciences de l'ingénieur) 13 000, la série D (sciences du vivant) 85 000 et la série B (économie, devenue série ES quelques années plus tard) 98 000. Soit un total de 274 000 élèves étudiant des mathématiques en terminale à divers niveaux de difficulté, dont 91 000 (C+E) suivant 9 heures de cours par semaine.

En 2021, en terminale série générale, 151 000 élèves suivent la spécialité mathématiques, dont 52 000 l'option mathématiques expertes et 65 000 le module mathématiques complémentaires. Par ailleurs, plus de 151 000 élèves ne font plus du tout de maths. En une trentaine d'années, alors que le nombre d'élèves au niveau du bac a nettement augmenté, le volume d'élèves qui font des maths au lycée a nettement baissé.

En décembre 2021, dans une interview pour *l'Étudiant-Educpros*²⁵⁵, Alain Joyeux, président de l'APHEC (association des professeurs des classes préparatoires économiques et commerciales) proposait déjà de réintroduire les mathématiques dans le tronc commun au lycée, même avec un petit volume horaire. Le constat qu'il tire des nouveaux cursus du lycée est sans équivoque : « s'il faut réindustrialiser la France, nous avons besoin de jeunes qui ont une base de formation solide en maths ». Cet argument se diffuse peu à peu bien au-delà du milieu académique ; en témoignent ces derniers mois dans les médias les prises de position inquiètes de nombreux acteurs du monde économique et de l'entreprise^{256, 257} et un infléchissement de la position du ministère

255. <https://www.letudiant.fr/educpros/entretiens/alain-joyeux-apehc-nous-proposons-que-les-maths-reviennent-dans-le-tronc-commun-meme-avec-un-petit-volume-horaire.html>.

256. Cf. couverture du magazine Challenges, ibidem page 42 de ce rapport.

257. https://www.linkedin.com/posts/laurentgiovachini_jean-michel-blanquer-veut-ajouter-des-mathematiques-activity-6896830134171561985-c4NV.

de l'Éducation nationale sur ce sujet, qui est en cours au moment de la rédaction de ce rapport.

L'évolution actuelle des mathématiques les porte aussi vers une plus grande interdisciplinarité. De grands efforts au sein de la communauté mathématique et enseignante ont été faits pour montrer le sens et l'utilité de cette science, favoriser la communication entre les disciplines et, plus généralement avec la société. Cependant, la complexité de l'organisation des spécialités et le grand nombre de classes hétérogènes étudiant des spécialités diverses au lycée rendent difficile la mise en œuvre de l'interdisciplinarité : l'étude sérieuse d'un sujet associé à une autre discipline met en difficulté une large partie de la classe et donc aussi l'enseignant.

L'universalité reconnue des mathématiques, leur « déraisonnable efficacité », comme le proclamait Eugène Wigner, lauréat du Prix Nobel de physique en 1963, imposent de diffuser dans l'enseignement leur caractère culturel, rigoureux tout en restant créatif et en constante évolution. Les recommandations à suivre sont le fruit de nombreux échanges avec des personnalités investies dans ces questions depuis de longues années (en particulier au sein de la Commission des Programmes) ou en responsabilité au sein d'associations œuvrant pour les mathématiques dont la CFEM (Commission française pour l'enseignement des mathématiques), la SMF et la SMAI (qui ont toutes les deux une commission enseignement active) et l'Adirem (Association des directeurs des instituts de recherche en enseignement des mathématiques).

RECOMMANDATION 17

Cesser les modifications ininterrompues de programmes en primaire et en secondaire. Réfléchir à horizon de 4 à 5 ans à un remodelage en profondeur en concertation étroite avec tous les acteurs.

Ces modifications captent toutes les énergies pour leur mise en place, empêchent les élèves de pouvoir anticiper leur parcours avec une offre stabilisée et rassurante, et épuisent les enseignants. Une modification de l'enseignement des mathématiques, avec une plus forte prise en compte de l'interdisciplinarité, nécessitera des ajustements importants. Ceux-ci ne peuvent être envisagés immédiatement. Il faut en effet prendre le temps pour qu'ils soient acceptés, avec une mise en place dans la durée et un accompagnement dans leur préparation, en concertation avec l'ensemble des acteurs dont les mathématiciennes et les mathématiciens.

Le besoin de formation continue est également important et celle-ci doit répondre à deux exigences.

D'une part, permettre l'**approfondissement de la connaissance de la discipline par les enseignantes et les enseignants**, qui, avec des parcours très variés, n'ont pas toujours pu stabiliser leur bagage en mathématiques. D'autre part, prendre la mesure du caractère universel des mathématiques et leurs aptitudes aux **interactions avec les autres disciplines**.

RECOMMANDATION 18

Amplifier et environner la formation continue en mathématiques des enseignantes et des enseignants, en lien avec les acteurs et actrices de la recherche.

Cette formation continue nécessite un **contact humain** car seules les formations sur site et au contact des enseignants sont vraiment efficaces dans la durée. Un portail national des ressources en ligne, déjà disponibles ou en devenir, peut apporter un soutien logistique très utile mais ne peut se substituer à des interventions en présence. La formation continue par les actrices et acteurs de la recherche doit être prise en compte dans les services des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs.

Le monde universitaire, déjà fort impliqué dans la formation initiale des enseignants et la médiation scientifique, doit s'emparer de cet enjeu. Les « constellations » et « laboratoires de mathématiques au lycée », en cours de mise en place, peuvent servir de bases pour un réseau à renforcer et faire vivre, en lien avec les mathématiciennes et les mathématiciens des laboratoires de recherche, les Irem (qui maillent le territoire et sont des interlocuteurs de longue date du monde enseignant), les associations et les structures existantes (MMI, MATH. en. JEANS, stage Hippocampe, Cigales, Animath). Tous ces acteurs ont aujourd'hui besoin d'être mieux reconnus et accompagnés.

3.8 UN DÉSÉQUILIBRE FEMMES-HOMMES QUI PERDURE

On ne peut aborder la question de l'image des mathématiques dans la société, sans parler du problème de la parité de genre, qui a déjà été évoqué à la lumière de la désaffection pour les sciences des jeunes filles dans l'enseignement secondaire. Si le problème de l'égalité femmes-hommes transcende le monde de la recherche et du territoire national, il présente dans un cas comme dans l'autre des spécificités.

Les chiffres de la recherche mathématique en France montrent un **déséquilibre important**

et constant dans le temps entre hommes et femmes. Avec moins de 25 % de femmes parmi les enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs à l'université et les chercheurs et chercheuses dans les organismes, les mathématiques sont les cancrs des disciplines scientifiques, au même niveau que l'informatique avec lesquelles elles sont, du reste, fusionnées dans les données du MESR²⁵⁸. L'ajout des doctorantes ne change pas la donne²⁵⁹. Ces chiffres sont, de plus, essentiellement constants depuis plus de 15 ans, avec des disparités entre sections du CNU 25 (forte baisse) et CNU 26 (légère augmentation).

Ce constat est aggravé par un effet plafond de verre²⁶⁰ puisque la promotion au grade de professeure et professeur des universités par exemple, où le ratio femmes-hommes tombe à moins de 15 %, s'avère statistiquement deux fois plus difficile pour une femme que pour un homme.

Pire encore, la tendance est mauvaise si l'on en croit les premières indications sur les effets de la réforme du lycée²⁶¹ déjà mentionnée dans la section 3.7. Si cette désaffection perdure, elle entraînera mécaniquement une baisse désastreuse de la proportion de femmes dans les métiers scientifiques et tout particulièrement en mathématiques dans les années à venir.

Ce constat national est-il partagé au niveau mondial ? Il existe peu de données permettant une comparaison générale et directe en mathématiques. De plus, ces comparaisons peuvent être biaisées par les différences de reconnaissance de la recherche d'un pays à l'autre. Néanmoins, on peut relever quelques éléments. En 2005²⁶², avec ses 23 % de femmes, la France était en milieu de tableau des nations européennes, derrière les nations du sud, Portugal (48 %), Italie (35 %) ou Espagne (27 %) mais sensiblement devant le Royaume-Uni (18 %) et l'Allemagne (15 %). Si l'Italie a vu un effritement²⁶³ (en 2022, 32 % mais encore 21,5 % au niveau full professor), le Royaume-Uni a progressé²⁶⁴ passant à plus de 21 % en 2017 (de 7 à 11 % au niveau full professor), rattrapant ainsi la

258. <https://femmes-et-maths.fr/enseignement-superieur-et-recherche/statistiques/effectifs-a-luniversite/> et https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/documents/esri---vers-l-galit-femmes-hommes---2021-9179.pdf.

259. <https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/parite-en-mathematiques-un-bilan-janvier-2021>.

260. Sur la parité à l'université, *Revue des droits de l'homme* 12, 2017, <https://journals.openedition.org/revdh/3197>.

261. <https://www.education.gouv.fr/analyse-des-voeux-et-affectations-dans-l-enseignement-superieur-des-bacheliers-2021-apres-la-reforme-327062>.

262. <https://womenandmath.files.wordpress.com/2007/09/statisticswomen.pdf>.

263. <https://drive.google.com/file/d/1jVIIDBgZi93mWgJrKdYrDzCrhinzgkSL/view>.

264. <https://www.lms.ac.uk/sites/lms.ac.uk/files/files/Benchmarking%20Report%20FINAL.pdf>.

France. L'Allemagne a quant à elle comblé son retard²⁶⁵ dès 2014 (23,2 %) et a désormais dépassé la France (23 % de femmes professeures en 2019) grâce à une politique volontariste qui sera décrite plus en détails plus loin. S'il est difficile de suivre l'évolution du ratio femmes-hommes aux États-Unis durant les quinze dernières années, on peut néanmoins mentionner les rapports de l'AMS en 2018 qui montrent un ratio global de 32 % de présence féminine²⁶⁶ dans les départements de mathématiques (avec des variations de 24 % à 37 % suivant le niveau diplômant proposé par le département) mais aussi 34 % de femmes parmi les nouveaux recrutées et recrutés²⁶⁷ (dont 39 % au niveau *tenure track*).

Figure 34

L'école de mathématiques « Les Cigales »



L'école de mathématiques « Les Cigales » a lieu au CIRM deux fois par an depuis 2019. Elle a pour vocation de développer l'attractivité des matières mathématiques auprès des jeunes filles afin de parvenir à plus de parité dans les métiers techniques et scientifiques.

Ces données quantitatives doivent être complétées par la proportion d'étudiantes en doctorat, étude qui reste à faire. On peut néanmoins noter (en particulier dans les références données ci-dessus) une tendance mondiale à un effondrement du ratio femmes-hommes entre master (y compris diplômées et diplômés de master) et doctorat, effondrement à rapprocher en France de la désaffection des filles pour les mathématiques dès l'enseignement secondaire.

On peut donc conclure que sur la question du genre, la France régresse dans le paysage des mathématiques mondiales, même si la situation dans les grands pays de mathématiques n'est pas satisfaisante et que le phénomène de plafond de verre est généralisé.

Par-delà la question des effectifs, celle de la reconnaissance par l'ensemble de la communauté se pose également avec acuité pour les femmes

265. <https://www.math.uni-konstanz.de/~infusino/kWIM/MInfusino-WIMGermany-report.pdf>.

266. <https://www.ams.org/profession/data/annual-survey/2018Survey-DepartmentalProfile-Report.pdf>.

267. https://www.ams.org/profession/data/annual-survey/advance_release_annsurv-recruitment-hiring_report2019.pdf.

en mathématiques. Rappelons qu'en 2014, Maryam Mirzakhani est la première femme à avoir reçu la médaille Fields et que la seconde médaille féminine n'a été attribuée qu'en 2022, à Maryna Viazovska, parmi plus de 74 lauréats depuis la création de ce prix prestigieux. En 2019, Karen Uhlenbeck a été la première lauréate du prix Abel, la seule à ce jour. Parmi les 21 exposés pléniers au congrès mondial des mathématiciens, trois ont été donnés par des femmes en 2018 et quatre en 2022. On peut noter qu'en 2018 les trois oratrices étaient françaises et qu'en 2022, deux sur les quatre l'étaient. Au niveau national, Claire Voisin est la première lauréate mathématicienne à avoir reçu la médaille d'or du CNRS, en 2016. La même année, il y avait seulement 6 % de femmes parmi les professeurs en mathématiques fondamentales (CNU 25) dans les universités françaises. On peut néanmoins noter que, au cours des 20 dernières années, et suite à une politique volontariste du CNRS, huit médailles d'argent du CNRS en mathématiques ont été décernées à des femmes parmi les 16 attribuées.

On commence donc à sentir des frémissements du côté de la reconnaissance des femmes au plus haut niveau international, renforcés au niveau national par l'extraordinaire qualité des « moteurs » féminins français. Que cette évolution et la prise en compte de cette qualité, déjà attestée depuis plusieurs années, ne produisent pas d'effets sur l'évolution du ratio femmes-hommes dans les effectifs doit questionner la communauté mathématique française.

Une fois le constat fait, il faut essayer d'en comprendre les raisons et en tirer des conclusions. En voici un exemple emblématique. La filière d'excellence pour accéder au monde de la recherche est celle des écoles normales supérieures (ENS). Créées en 1880 et 1881, les ENS de jeunes filles de Fontenay et de Sèvres ont joué un rôle crucial pour l'accès de ces dernières aux études supérieures. La fusion en 1985 de l'ENS de jeunes filles de Sèvres avec l'ENS de la rue d'Ulm, non sans susciter de fortes résistances rue d'Ulm, s'est traduite immédiatement par la très forte diminution des lauréates aux concours scientifiques en mathématiques et physique. Avant la fusion, un tiers des normaliens mathématiciens et 40 % des normaliens physiciens étaient des filles. Durant la période 1986-1994, celles-ci ne représentaient plus que 7 % des effectifs de l'ENS en mathématiques et 16 % en physique²⁶⁸. La mixité, bien qu'affichée comme principe, n'a pas du tout été réalisée. En effet, durant la période récente 2016-2021, les taux d'intégration des jeunes filles au concours en mathématiques dans les trois ENS historiques

(en ajoutant l'ENS Paris-Saclay ex-ENS Cachan) sont, respectivement, de 7,3 % pour Lyon, 6,9 % pour Ulm, 6,5 % pour Paris-Saclay²⁶⁹. Pire, lors de l'entrevue de 6 élèves de la rue d'Ulm avec le comité de visite du Hcéres en 2018 (évaluation du DMA), les trois femmes, bien qu'ayant de meilleurs résultats que leurs homologues hommes, déclaraient souhaiter entrer dans le monde de la recherche à condition d'en être « capables », hypothèse visiblement réputée acquise pour les trois hommes. Cette situation est choquante et il revient aux équipes pédagogiques d'en prendre la mesure.

Afin d'attirer et de recruter des jeunes femmes dans le monde des mathématiques²⁷⁰, les leviers peuvent être la mise en place de journées d'informations, de travail collectif, de bourses d'étude, ou de mentorat par exemple. Le travail de mentorat peut permettre d'assurer « très tôt » que ces jeunes filles se sentent attendues par un milieu professionnel qui ne leur ressemble pas forcément. En effet, le monde de la recherche en mathématiques peut paraître se complaire dans un élitisme quelque peu mortifère^{271, 272}, bien différent d'une exigence construite sur un modèle bienveillant. À la différence des sciences expérimentales qui reposent sur des équipes structurées en un même lieu géographique, souvent autour d'une instrumentation lourde, la recherche en mathématiques est souvent solitaire, même si les publications sont de plus en plus écrites en collaboration. Cet exercice solitaire est source de fragilité et peut facilement mener à un repliement sur soi, d'autant que la notion d'excellence, utilisée jusque dans le nom de certains appels à projet, ne fait que renforcer l'esprit de compétition et aller à l'encontre d'une activité de recherche plus collaborative.

« Très tôt » signifie « dès les années collège, voire dès le primaire » car la situation est actuellement complètement bloquée, par exemple au lycée, comme le constate le Rapport filles et garçons à l'école²⁷³ dressé en 2020. Ce mentorat doit pouvoir être poursuivi tout au long de la carrière, pour accompagner les étapes clés (doctorat, promotions, etc.). Il devrait permettre peu à peu l'émergence de modèles pour les jeunes filles, qui les encouragent à poursuivre un cursus en mathématiques; à la clé aussi, une évolution progressive des mentalités et une prise de conscience par les jeunes filles de leur capacité

269. Ce taux passe à 16 % dans la nouvelle ENS de Rennes.

270. *Vers un système d'éducation plus inclusif en France ? Série « Politiques meilleures »* OCDE 2015.

271. *Parité et évaluation non-discriminatoire au CNRS*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03311372/document>.

272. *Formations et carrières mathématiques en France : un modèle typique d'excellence*, Pierre-Michel Menger, Colin Marchika, Yann Renisio, Pierre Verschuere, *Revue française d'économie*, 2020/2 Vol. XXXV | pages 155 à 217.

273. *Rapport filles et garçons à l'école*, DEPP, 2020.

268. *La mixité à dominance masculine : l'exemple des filières scientifiques de l'École normale supérieure d'Ulm-Sèvres*, Michèle Ferrand, ENS Editions 2004, p. 181-193.

à poursuivre dans cette voie²⁷⁴. Un tel mentorat existe déjà dans certaines universités et a été mentionné par le conseil scientifique d'Udice²⁷⁵ lors de sa rencontre avec le comité.

La communauté mathématique doit également avoir une réflexion approfondie sur les modes de recrutement, d'évaluation et de gouvernance. Elle doit veiller à reconnaître et affirmer la dualité intrinsèque du métier de la recherche conjuguant indépendance et dynamique collective.

Le défi qui se présente est de taille. En témoigne le rapport dressé en janvier 2022²⁷⁶ par l'IGESR, qui semble se réjouir de la relative stabilité des orientations à la sortie du lycée : les jeunes filles qui poursuivent leur cursus en école d'ingénieur (cycle intégré), en classes préparatoires ou en licence de mathématiques-informatique représentent environ 25 % des cohortes d'étudiants. Tant que le vivier de jeunes filles dans les filières scientifiques où les mathématiques jouent un rôle important restera à ces étiages, on ne peut espérer modifier les chiffres du rapport femmes-hommes dans l'enseignement supérieur et la recherche en mathématiques. Le communiqué *Réforme du lycée et mathématiques, 25 ans de recul sur les inégalités filles/garçons*²⁷⁷ des sociétés savantes et d'autres associations concernées par l'enseignement des mathématiques, qui est fondé sur les données de la direction de

RECOMMANDATION 19

Impliquer la communauté de la recherche mathématique dans les questions de parité, dont celles liées à l'enseignement en primaire, collège et lycée. Soutenir et articuler les actions avec les actions de formation continue des enseignantes et des enseignants.

Poursuivre les efforts auprès des jeunes filles dès le primaire, et les poursuivre dans la durée, afin de rendre plus attractives les filières mathématiques. Mettre en place de nouveaux leviers pour compléter ceux déjà existants. Identifier les meilleures étudiantes dès leur entrée dans l'enseignement supérieur et les accompagner dans leur orientation, par exemple avec des mécanismes de mentorat et de soutien financier pour qu'elles puissent poursuivre leurs études en mathématiques.

274. *La bosse des maths n'existe pas*, Edition Autrement, C. Perronnet.

275. Universités de recherches françaises, <https://www.udice.org/>.

276. *Analyse des vœux et affectations dans l'enseignement supérieur des bacheliers 2021 après la réforme du lycée général et technologique*, IGESR, Rapport no. 2022-004-janvier 2022.

277. *Réforme du lycée et mathématiques, 25 ans de recul sur les inégalités filles/garçons*, Adirem, APMEP, ARDM, CFEM, Femmes et Mathématiques, SFdS, SMAI, SMF, UPS, Communiqué du 25 janvier 2022.

l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP), alerte sur les conséquences inquiétantes de cette réforme sur la parité. Cela conduit à deux recommandations destinées, d'une part, à la communauté mathématique et, d'autre part, à la communauté éducative nationale.

Depuis la fin des années 80, la communauté mathématique française s'est emparée des questions autour de la parité de genre et a engagé de nombreuses actions. Citons ainsi la réflexion de fond menée en France par l'association Femmes et mathématiques, créée en 1987 un an après son homologue européenne (*European women in mathematics*) et 15 ans après son homologue américaine (*Association for Women in mathematics*). « Femmes et Maths » a organisé, dès le milieu des années 2000, des journées et des forums consacrés à la parité, travaillant avec obstination à la prise de conscience collective. La même réflexion de fond est menée au niveau international depuis plusieurs années, soulignant les différentes formes que ce déséquilibre femmes-hommes prend dans les disciplines scientifiques et proposant un certain nombre de pistes pour y remédier²⁷⁸.

Les conseils scientifiques du CNRS et de l'Inria sont désormais sensibilisés à cette question^{279,280,281}. Ils publient régulièrement des recommandations. L'Insmi demande désormais aux laboratoires de nommer en leur sein des correspondantes ou correspondants « parité » et encourage le recrutement de mathématiciennes. Les laboratoires sont soutenus par des incitations financières qui peuvent se transformer en pénalités lorsque rien n'est fait. Ces mécanismes sont très récents et devraient être renforcés dans les années à venir. D'autres actions concrètes ont été mises en place dans le monde de la recherche mathématique. Par exemple, les congés maternité et parentaux sont maintenant pris en compte, avec une réduction du service d'enseignement, et une délégation est accordée quasi-systématiquement par le CNRS, sur proposition de l'Insmi, au retour du congé parental. Force est néanmoins de constater que si cette prise de conscience est réelle et a commencé à faire bouger les mentalités, elle a eu peu d'effets concrets en termes d'effectifs.

Comme il a été dit, en Allemagne, le déséquilibre femmes-hommes, qui était très fort il y a 15 ans, s'est sensiblement atténué. La même période a également vu une augmentation de 30 % du

278. *A Global Approach to the Gender Gap in Mathematical, Computing, and Natural Sciences: How to Measure It, How to Reduce It?* Editors Guillopé Colette, Roy Marie-Françoise, Publisher International Mathematical Union Publication 2020.

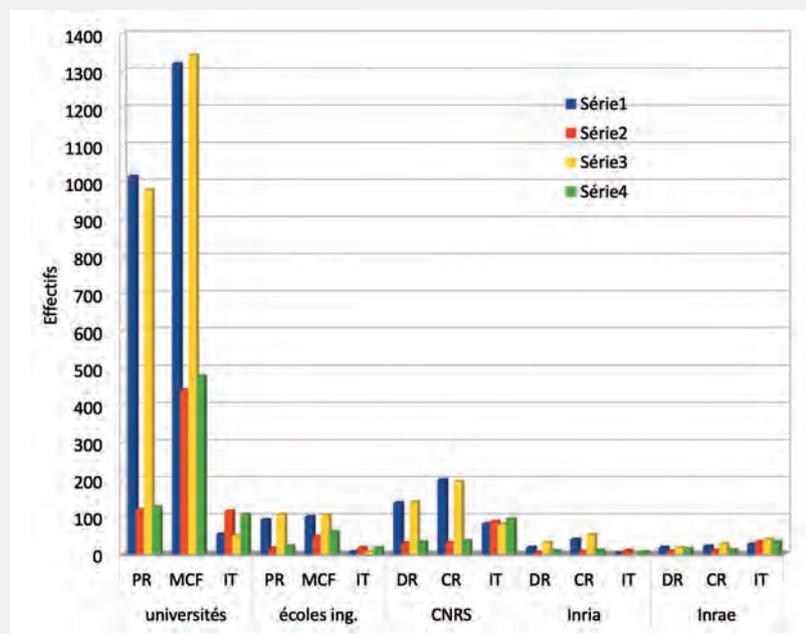
279. Rapport de prospective, Conseil Scientifique de l'Insmi, 2018.

280. *La place des femmes à l'INS2I: actions concrètes au CNRS*, Conseil Scientifique de l'INS2I, 2019.

281. Bilan social 2019, Inria.

Figure 35

Évolution de la parité dans les effectifs. Source : vagues 1 et 2 du corpus Hcéres de laboratoires (cf. annexes D et E).



personnel scientifique en mathématiques²⁸². Cette nette amélioration du ratio femmes-hommes est le fruit d'une politique très proactive à destination des femmes dans les disciplines scientifiques. Bien que les universités et leurs personnels soient normalement financés par les Länder, un programme quinquennal financé par le ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche a été mis en place en 2008 et a été reconduit à trois reprises depuis, avec un budget spécifique pour soutenir les universités qui recrutent des femmes. Plusieurs mécanismes à destination des jeunes femmes ont été mis en place au niveau fédéral, dès les années collège, jusqu'à l'obtention d'un poste de professeur : des interventions dans les collèges sur les questions d'égalité femmes-hommes dans les métiers scientifiques, des visites par les lycéennes de laboratoires de recherche, des bourses spécifiques pour des étudiantes de haut niveau, incluant un mentorat par une équipe de recherche, un accompagnement financier pour les femmes nouvellement recrutées (notamment des bourses de thèse), des postes supplémentaires pour les départements (scientifiques) qui recrutent des femmes, etc. Ces mesures ont mis une pression forte sur les laboratoires de mathématiques et ont évité d'avoir recours systématiquement à la disposition plus

radicale du fléchage de postes spécifiques pour les femmes, ce que l'Allemagne a également expérimenté. Dans un pays fédéral, cette intervention forte au niveau de l'État (souvent relayé par les régions), et sa réussite, doivent amener les pouvoirs publics français à réfléchir.

Dans la lignée de ce qui peut se faire dans les grandes entreprises, et suite à la loi 2013-660 du 22 juillet 2013, les établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche ont mis en place des outils pour mesurer au plus près l'évolution des ratios femmes-hommes, favoriser la représentativité des femmes dans les différentes instances de la vie des établissements et essayer de prévenir les biais cognitifs liés au genre. Malgré leur relativement faible nombre, les mathématiciennes françaises participent de plus en plus aux différentes instances qui structurent la communauté : sociétés savantes, conseils

scientifiques divers, comités de sélection, comités éditoriaux, etc. Bien entendu, la législation obligeant un équilibre presque paritaire dans toutes ces instances, cela n'est pas surprenant. L'investissement des mathématiciennes, pour lesquelles ces mesures induisent des charges de travail supplémentaires lourdes, est néanmoins remarquable. Ces mesures ont des effets positifs et font évoluer les mentalités.

RECOMMANDATION 20

Renforcer les mécanismes de soutien aux laboratoires qui s'inscrivent dans une dynamique d'amélioration de la parité de genre. Fixer à moyen terme des objectifs chiffrés et les moyens de les atteindre. Envisager des aménagements (dont décharges d'enseignement) pour les femmes devant accepter des charges administratives multiples.

La parité de genre est également impactée par une spécificité de la communauté mathématique, concernant les pratiques de recrutement et de mutation. Cette communauté connaît en effet une **mobilité géographique et institutionnelle** de ses membres plus importante que celles des autres sciences. L'entrée dans le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche se fait hors de l'établissement d'origine et le changement de corps au cours de la carrière impose aussi un changement de lieu. Cette

282. <https://www.math.uni-konstanz.de/~infusino/KWIM/MInfusino-WIMGermany-report.pdf>.



mesure a favorisé l'existence de laboratoires de premier plan sur l'ensemble du territoire et simplifié la gestion des ressources humaines en leur sein. Elle a aussi fait émerger une exigence commune dans l'enseignement supérieur, qui favorise la mobilité des étudiantes et des étudiants entre établissements et permet d'attirer des jeunes étrangers désireux de poursuivre leurs études en France, à Paris ou en province.

Les effets de ce principe de mobilité sont difficilement quantifiables. Cependant, lors des évaluations des laboratoires par le Hcéres, les personnels de rang B, et parmi ceux-ci plus particulièrement les femmes, ont fait part de leur choix de ne pas postuler à un poste de professeur ou de professeure en raison des difficultés familiales induites par la mobilité d'un des deux conjoints.

L'ampleur et la persistance du déséquilibre femmes-hommes au sein des mathématiques, sans réelle perspective d'inflexion des courbes à court terme, impose de se poser des questions,

comme celle des quotas ou des postes supplémentaires réservés comme en Allemagne. C'est par des objectifs chiffrés, fixés par le législateur, que le monde politique et celui des grandes entreprises ont amorcé un rééquilibrage femmes-hommes en leur sein. Le principe des quotas est très majoritairement refusé par la communauté mathématique, voire par les mathématiciennes elles-mêmes. Si cette question dépasse le cadre des mathématiques pour se poser à tous les domaines scientifiques, la place de cancre qu'occupent les mathématiques sur le sujet peut servir d'aiguillon pour activer la réflexion. Les stratégies choisies peuvent du reste être temporaires et ne porter que sur quelques années afin d'enclencher un mouvement vertueux.

Après 30 ans de prise de conscience, la communauté mathématique doit définir une politique et une stratégie claires sur les questions de parité, puis les proposer aux pouvoirs publics. Elle peut s'inspirer des codes de bonne conduite mis en place au Royaume-Uni et des mécanismes mis en œuvre en Allemagne par exemple. ●

CONCLUSION

UNE STRUCTURATION FORTE ET UNE EXCELLENCE SCIENTIFIQUE, MAIS UN DIAGNOSTIC CONTRASTÉ

La communauté mathématique dispose de deux atouts de poids. Tout d'abord, elle occupe aujourd'hui une place éminente dans le monde, avec une grande visibilité internationale. De plus, son fonctionnement en réseau structuré lui permet de partager et d'optimiser ses ressources.

Les succès sur le plan international de l'école mathématique française résultent de sa capacité à former et à faire émerger des personnalités scientifiques exceptionnelles. Ce rayonnement bénéficie à l'ensemble de la communauté mathématique nationale grâce à son fonctionnement en réseau, qui favorise la diffusion rapide des connaissances et des idées nouvelles sur l'ensemble du territoire, permettant aux mathématiques de se développer partout avec une vigueur et un niveau remarquables.

Cette qualité de la formation et de la recherche en mathématiques se traduit également par un fort impact des mathématiques sur l'économie évalué à 17,6 % du PIB en 2019, en progression de plus de 2 points par rapport à 2015. Cet impact

est amplifié par le fonctionnement en réseau des mathématiques françaises: la richesse créée en termes de formation et de potentiel d'innovation, grâce par exemple aux canaux établis par AMIES, aux GDR incluant des chercheurs en entreprise ou grâce aux sessions de formation continue du CIRM en est une illustration.

Les prémices d'un déclassement de la France en mathématiques sont déjà visibles, malgré des succès exceptionnels dans les classements internationaux, liés en partie à la restructuration en grandes entités de la recherche française. La baisse du nombre de publications, le faible taux d'interaction avec l'économie malgré des efforts de structuration, le recul du savoir chez les enfants du primaire et du secondaire, sont autant de signes de fragilité.

Maintenir le rang des mathématiques françaises dans le concert international et faire bénéficier l'économie et la société de la force de son école de mathématiques, tel est le défi posé à la France et à sa communauté mathématique dans les années à venir. ●

LE CHOIX ENTRE AMBITIONS ET DÉCLASSEMENT

La responsabilité de la communauté mathématique, que l'économie et la société appellent à l'aide, est immense. Dans cet esprit, le comité a émis **21 recommandations** dans le chapitre 3 de ce rapport, correspondant à l'ensemble des problèmes qui viennent d'être évoqués.

Ces recommandations sont destinées à l'ensemble des acteurs et des interlocuteurs de la recherche en mathématiques, aux responsables politiques, aux entreprises, aux organismes, universités et écoles, aux enseignants comme au grand public, aux mathématiciennes et mathématiciens, seniors comme en début de carrière.

Atteindre les ambitions de la France en termes de savoir, de rayonnement, de réponse aux enjeux économiques et aux défis posés par une société en constante évolution a un coût. À cet effet, le comité émet une dernière recommandation à l'État afin de se donner les moyens de ces ambitions, de répondre aux 21 recommandations du comité et d'éviter le déclassement dont il a été question dans ce document. ●

RECOMMANDATION CONCLUSIVE

METTRE EN PLACE UN PROGRAMME FRANÇAIS POUR LES MATHÉMATIQUES À HORIZON 2030

Dans le cadre de ce programme français, plusieurs des recommandations émises dans ce rapport nécessitent des moyens à court terme afin de préserver le potentiel de recherche et répondre aux besoins économiques et enjeux sociétaux. Elles concernent :

- Le soutien aux grands outils mis en place par le réseau des mathématiques, en particulier les centres (IHP, CIRM et IHES), le labex Carmin qui les environne, l'agence AMIES et les outils liés à la diffusion des mathématiques et leur appropriation par la société.
- L'augmentation du nombre de jeunes mathématiciennes et mathématiciens (docteurs, docteurs ouverts au monde non-académique, post-doctorantes et post-doctorants sur des postes de 3 ans de lectrices, de lecteurs ou partiellement en entreprise) à l'interface ou en connexion avec l'économie, la société et le monde de l'enseignement, et la mise en place de formations et d'actions dédiées et labellisées.

Ces axes prioritaires concernent donc **la préservation et la montée en puissance des grands outils du réseau des mathématiques et le pari de la jeunesse**, même si ce programme a vocation à permettre de répondre à l'ensemble des recommandations de ce rapport.

Une des objections majeures à un tel plan, émise par les interlocuteurs du comité lors des entretiens²⁸³ concerne son apparente inadéquation avec le principe d'autonomie des universités. La motivation pourtant d'un tel plan d'envergure nationale, déjà acté dans d'autres domaines comme celui du quantique ou de l'IA, vient du fait que les enjeux décrits dans ce document sont à l'échelle du pays, dépassant les établissements mêmes s'ils en sont des acteurs centraux. De même, l'idée que d'autres plans ponctuels, transverses ou moins dimensionnés pourraient, par phénomène de ruissellement, résoudre les problèmes relevés dans le rapport semble fautive, tant le risque de déclassement de la France, l'urgence de répondre aux besoins de la société, de l'économie et de l'éducation sont grands et nécessitent un effort ciblé. Enfin, c'est au niveau national que l'hémorragie de leaders scientifiques vers l'étranger peut être enrayée et, a contrario, que l'attractivité de l'école française de mathématiques peut être renforcée.

Le prochain paragraphe propose un schéma de mise en œuvre de ce programme en soulignant les intérêts de son périmètre national. ●

283. En particulier le MESR et France Université ont rappelé leur attachement à l'autonomie des établissements. La liste des entretiens institutionnels est rappelée en annexe C de ce document.

UN « PROGRAMME POUR LES MATHÉMATIQUES À HORIZON 2030 »

La mise en œuvre de ce programme pourra s'appuyer sur tous les acteurs : organismes, universités, écoles, collectivités, entreprises, associations ainsi que toute la communauté mathématique et les pilotes de son réseau. Un programme à l'échelle nationale avec des moyens substantiels doit pouvoir donner une forte impulsion, avec un effet d'entraînement, à tous les laboratoires et départements de mathématiques de France.

Compte-tenu de la proportion forte d'enseignantes-chercheuses et d'enseignants-chercheurs parmi la population des mathématiciennes et des mathématiciens, associer étroitement les universités à la dynamique impulsée par ce programme est essentiel. En particulier, le recrutement d'un lecteur ou d'une lectrice dans un endroit donné, sur la base d'un programme national, sera un label de qualité pour le laboratoire et le département de mathématiques concernés. Il améliorera localement le potentiel de recherche et d'enseignement en encourageant l'université de tutelle à appliquer les mêmes critères de qualité de la recherche, mais surtout à préserver les emplois et le bon déroulement des carrières des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs en mathématiques.

Si l'impact des mathématiques sur l'économie est globalement impressionnant, comme rappelé et chiffré en section 2.4, la formation par la recherche de haut niveau qu'est le doctorat en mathématiques n'a pas encore l'image de diplôme phare qui est le sien dans les pays anglo-saxons. L'objectif poursuivi par l'attribution de contrats doctoraux, sous condition de suivre des parcours de formation doctorale labellisés en ce sens, est bien d'encourager un processus de modification en profondeur de la formation doctorale en mathématiques. Une fois ce processus en place, il profitera aux lauréats de ces allocations labellisées, mais pourra être étendu à l'ensemble des doctorants et doctorantes de mathématiques qui souhaiteront en bénéficier, tous domaines confondus. Un effet boule de neige rendra attractive la formation et les doctorants seront davantage prêts à rejoindre le monde de l'entreprise.

Par ailleurs, la mutualisation à l'échelle nationale de ces formations au monde de l'entreprise pourra permettre à toutes les écoles doctorales, même les plus petites, d'offrir la chance à leurs doctorantes et doctorants de s'ouvrir aux entreprises. Parallèlement, les laboratoires d'accueil pourront développer des liens avec les entreprises impliquées.

La montée en puissance, en termes de flux et de durée, du dispositif de recrutement de post-doctorats-entreprise sur le modèle promu par AMIES, et la publicité nationale qui lui sera faite, stimuleront les liens entre les laboratoires de mathématiques et les entreprises. À l'instar du dispositif prévu pour les doctorantes et doctorants, il invitera des docteurs et docteurs de spécialités mathématiques très diverses vers des recherches sur des sujets possédant des applications concrètes. À la suite de ces post-doctorats initiatiques, on peut évidemment espérer que nombre de ces jeunes se laisseront tenter par une carrière en entreprise.

Ce programme national pourra également permettre de diversifier le vivier et les compétences des doctorantes, doctorants, post-doctorantes et post-doctorants. Il permettra d'abord de donner des atouts et de l'appétence à des jeunes mathématiciennes et mathématiciens pour des carrières non académiques, mais sans a priori sur leur spécialité de recherche. Cette approche, différente et complémentaire de celle des dispositifs Cifre, est donc susceptible de diversifier considérablement les recrutements de niveau doctorat qu'effectueront les entreprises dans les années à venir. Ce programme est ensuite susceptible d'attirer des talents venus de tous les pays, replaçant clairement la France dans la compétition internationale, pour fixer sur le territoire des talents de la recherche en mathématiques, que celle-ci soit académique ou en entreprise. Ce programme à l'échelle nationale permettra, enfin, grâce à un pilotage mutualisé à l'échelle de la France, de répondre aux impératifs de parité dans l'attribution des allocations car il est plus facile de respecter un objectif chiffré lorsqu'on recrute un volume conséquent de jeunes. Il a donc vocation à afficher un gender equality plan ambitieux doté d'une forte visibilité, concernant l'ensemble des problématiques relevées et des recommandations émises en section 3.8, dont la mise en place de mentorat et de bourses d'étude à destination des jeunes femmes.

La reconnaissance internationale de la recherche mathématique française est une chance, ce n'est en aucune manière une rente de situation. Il ne faut pas minimiser le risque de déclassement si on n'investit pas aujourd'hui pour faire profiter pleinement la France de l'atout stratégique dont elle dispose avec son école mathématique. ●

ANNEXES

A. LETTRE DE MISSION DU PRÉSIDENT DU HCÉRES



Le Président

Monsieur Marc PEIGNÉ
Président du Comité
Synthèse Disciplinaire Nationale de
Mathématiques

Objet : Lettre de mission –
Synthèse Disciplinaire
Nationale en
Mathématiques
Réf : TC N° 654-2-2021

Affaire suivie par :
Philippe ELBAZ-VINCENT
Conseiller Scientifique au
Département
d'évaluation de la
Recherche
[philippe.elbaz-
vincent@hceres.fr](mailto:philippe.elbaz-
vincent@hceres.fr)

Paris, le 21 septembre 2021,

Cher collègue,

Je vous remercie vivement d'avoir accepté de présider le comité d'experts chargé de la Synthèse Disciplinaire Nationale en Mathématiques.

L'objectif de cette synthèse est triple : dresser un panorama de la discipline en soulignant ses forces et faiblesses ; identifier les interactions et coopérations scientifiques (disciplinaires, interdisciplinaires, avec le monde des entreprises ou la société) contribuant à un rayonnement et à une visibilité accrue de l'ensemble des mathématiques françaises ; formuler à partir de ces analyses des recommandations pour l'ensemble des acteurs politiques, économiques et scientifiques français.

Pour conduire ses travaux, le comité que vous présiderez s'appuiera sur :

- les rapports d'évaluation des entités de recherche et sur les synthèses de site réalisés par le Hcéres au cours des dernières années ;
- les documents communiqués par les principales tutelles institutionnelles et scientifiques ;
- des entretiens avec des acteurs et experts français et internationaux ;
- des éléments fournis par l'Observatoire des Sciences et Techniques (OST).

Les conclusions du comité sont attendues au cours de l'été 2022.

Le rapport élaboré par le comité sera rédigé sous votre responsabilité ainsi que celle du Vice-Président du comité Monsieur Grégoire Allaire, en coordination avec le conseiller scientifique pilote en charge de cette mission, Monsieur Philippe Elbaz-Vincent, qui veillera au bon déroulement des différentes étapes du processus.

Les conditions d'engagement et de rémunération de votre mission seront précisées dans une annexe qui vous sera transmise ultérieurement.

Vous remerciant encore de votre implication dans la réalisation de la Synthèse Disciplinaire Nationale en Mathématiques, je vous prie d'agréer, Cher collègue, l'expression de mes salutations distinguées.


Thierry COULHON
Président du Hcéres

2 rue Albert Einstein
75013 Paris, France
T. 33 (0)1 55 55 60 10
hceres.fr

Haute Commission de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur

B. COMITÉ D'EXPERTS RÉDACTEURS DE CE RAPPORT

Sous la Présidence et la Vice-présidence de

M. Marc Peigné, Professeur à l'Université de Tours, **Président du comité** ;
M. Grégoire Allaire, Professeur à l'École polytechnique, **Vice-président du comité**.

Le comité est composé de (par ordre alphabétique):

M. Grégoire Allaire, Professeur à l'École polytechnique ;
Mme Hélène Barucq, Directrice de recherche à Inria ;
Mme Valérie Berthé, Directrice de recherche au CNRS ;
M. Gérard Biau, Professeur à Sorbonne Université ;
M. Piermarco Cannarsa, Professeur à l'université de Rome Tor-Vergata ;
M. Patrick Cattiaux, Professeur à l'université de Toulouse ;
Mme Clotilde Fermanian Kammerer, Professeur à l'université Paris Est-Créteil ;
M. Patrick Foulon, Directeur de recherche émérite au CNRS ;
M. François Laudенbach, Professeur émérite à l'université de Nantes ;
Mme Violaine Louvet, Ingénieur de recherche calcul scientifique au CNRS ;
M. Pascal Massart, Professeur à l'université Paris-Saclay ;
M. Philippe Michel, Professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne ;
M. Frédéric Patras, Directeur de recherche au CNRS ;
M. Marc Peigné, Professeur à l'université de Tours ;
Mme Alessandra Sarti²⁸⁴, Professeur à l'université de Poitiers ;
M. Éric Sonnendrücker, Professeur au Max-Planck Institute for Plasma Physics.

Le comité a été accompagné pour la rédaction des deux premiers volumes de ce rapport par M. Philippe Elbaz-Vincent, Professeur à l'université Grenoble Alpes et M. Frédéric Hérau, Professeur à Nantes Université, conseillers scientifiques au Hcéres. Le troisième volume est le fruit du travail de l'Observatoire des sciences et techniques sous la direction de Mme Frédérique Sachwald.

Pour la constitution du comité, le Hcéres a tenu compte de la nécessité de respecter la diversité de genre, le large champ des thématiques en mathématiques, l'origine institutionnelle des experts, leur reconnaissance, ainsi que la diversité de leurs statuts et de leur origine géographique.

284. Mme Alessandra Sarti a quitté le comité au 31 décembre 2021, suite à sa nomination comme directrice adjointe scientifique à l'Insmi du CNRS au 1er janvier 2022.

C. LISTE DES ÉCHANGES ET ENTRETIENS INSTITUTIONNELS

Les échanges et entretiens ont été menés au printemps et à l'été 2022.

Académie des Sciences
SMF, Société mathématique de France
SMAI, Société de mathématiques appliquées et industrielles
SFDS, Société française de statistique
AMS, American Mathematical Society
MESR, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
CNRS, Centre national de la recherche scientifique
CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Inria, Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique
Inrae, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IRD, Institut de recherche pour le développement
France Universités
Udice, Universités de recherches françaises
Cdefi, Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs
ANR, Agence nationale de la recherche
ANRT, Association nationale de la recherche et de la technologie
Onera, Office national d'étude et de recherche aérospatiales
Ifpen, Institut français du pétrole et des énergies nouvelles
Fédération Syntec

D. DONNÉES HCÉRES DES AUTOÉVALUATIONS DES LABORATOIRES VAGUES A2011 À C2023

MÉTHODOLOGIE

La **méthodologie d'extraction des données** suivie par le comité, avec l'appui des services du Hcéres, est la suivante. Les évaluations des laboratoires par le Hcéres sont menées par vagues successives, de A à E. Les données qui suivent sont extraites des fichiers excel « URFO » remplis par les laboratoires des vagues A2011 à C2023. Les onglets concernés dans le fichier sont « Recap personnels », « Liste des personnels » (selon les années, pour les données de genre) et « Ressources fi ». Seuls les laboratoires des répertoires « Unités Principales » de la base de données du Hcéres ont été pris en compte, à l'exception de XLIM en principal en D2012 puis en secondaire en 2018 et du Centre Borelli et de Irimas en C2023 nés chacun de la fusion de deux laboratoires. La liste des laboratoires du corpus, sous leur nom officiel au 1^{er} janvier 2022, est donnée en annexe E de ce document. Les périmètres et leur adéquation ont été vérifiés sur l'ensemble des évaluations utilisées et les modifications qui ont eu lieu dans l'intervalle de temps, notamment les fusions ou intégrations, ont été prises en compte en réunissant les laboratoires concernés.

Les **données concernant les effectifs** disponibles dans les tableaux sont : les effectifs des différents corps, les établissements employeurs, le nombre de doctorants lors du rendu du rapport. À noter que l'indication « Autres » dans les effectifs correspond à la catégorie « Conservateurs, cadres scientifiques, EPIC, fondations, industries, etc. » des fichiers Hcéres remplis par les laboratoires. Les retours des évaluations des écoles doctorales sont parcellaires et les effectifs concernés n'ont pu être l'objet d'un rendu exhaustif, ils n'apparaissent donc pas dans les tableaux qui suivent. Concernant l'indication « Écoles », il s'agit des établissements de type écoles d'ingénieurs. Les ENS ont été considérées dans les universités. La liste des universités, écoles de type ingénieur et écoles normales supérieures considérées est donnée en annexe F.

Les **données concernant la parité** disponibles dans les tableaux sont, pour les personnels titulaires, le genre. À noter que ces données ne sont pas formatées de la même façon selon les vagues : elles apparaissent sur un ou différents onglets, selon que les personnels titulaires et non titulaires sont fusionnés ou pas.

Les **données concernant les financements** disponibles dans les tableaux sont les montants en fonction de la provenance. Il s'agit des dotations récurrentes des tutelles, des programmes internationaux, des projets européens (ERC ou autres), des projets soutenus par l'ANR, des financements issus des PIA, des financements issus d'autres appels nationaux, des financements des collectivités territoriales, des contrats avec les entreprises et enfin des autres sources de financement. Selon les vagues, les données peuvent être réparties en « crédits de fonctionnement », « crédits d'investissement » et « masse salariale ». Dans ce cas, sauf pour les crédits récurrents des tutelles, les montants des ressources propres correspondent à l'addition des trois masses.

Dans l'analyse proposée, trois vagues d'évaluations, concernant le même ensemble de laboratoires mais au cours de périodes différentes, ont été analysées. L'étude conjointe des vagues 1 et 2 a permis d'avoir une vision de l'évolution de ces laboratoires, l'étude de la

vague 3 a permis de dresser un instantané à la date de l'écriture de ce rapport. La vague 3 est plus récente et intersecte la vague 2.

Les données brutes recueillies sont à prendre avec circonspection puisqu'elles ne concernent pas l'intégralité des mathématiciennes et des mathématiciens (ceux des laboratoires pour lesquels les mathématiques sont une discipline secondaire, ou bien pour lesquels les données sont inexploitable en raison de création récente par exemple, ne sont pas comptés) et concernent, pour certains laboratoires du corpus en interaction, des produits et activités de personnels de recherche d'autres sciences que les mathématiques. Elles sont néanmoins le reflet de l'activité des « laboratoires de mathématiques » au sens du Hcéres.

Toutes les données disponibles concernant les **évolutions entre deux vagues** sont issues de l'analyse comparative des **vagues 1 et 2** ci-dessous, issues des autoévaluations des laboratoires de C2011 à A2021.

Années	Laboratoires concernés ²⁸⁵
<p>Vague 1</p> <p>1^{re} évaluation complète : évaluations vagues Hcéres A2011 à E2015 (sauf LAMPS évalué en A2011 et E2015 et MIAT et ENAC en A2016)</p>	<p>A2011: UMPA, LMAP, LJK, LAMPS, LAMA, LAMUSE, IF, IMB, IMT, ICJ B2012: XLIM, LMRS, LMNO, MIA, MAPMO, LMAM, LMAH, LATP, LMRM, LJAD, LMPT, LMA, LMI, LMBP, LMBA, LMB, LMAC, LMR, LARM, LAMFA, LMJL, IRMAR, IMTV, IML, IMB, GAATI, ERIM, BioSP C2013: MIPS, LMIA, LMAM, LMA, IRMA, IECL D2014: SAMM, MMN, MODALX, MAP5, LAGA, LSTA, LPMA, LDAR, IMJ-PRG, LJLL, DMA, CEREMADE, CAMS E2015: UMA, MISTEA, MIAJ+MIG, MIA, MAS, LPP, LMV, LMPA, LMO, LML, LaMME, LAMIA, LAMAV, LAMA, I3M, CMAP, CMLS, CMLA, CERMICS, AGM A2016: MIAT, ENAC</p>
<p>Vague 2</p> <p>2^e évaluation complète : évaluations vagues Hcéres A2016 à E2020 (sauf MISTEA, IMAG, MIAT en A2021)</p>	<p>E2015: LAMPS A2016: UMPA, LMAP, LJK, LAMA, IMT, IMB, IF, ICJ B2017: LMRS, LMNO, LMM, LMJL, LMI, LMBP, LMBA, LMB, LMAH, LAREMA, IRMAR, IMB, GAATI, ERIM C2018: MIA, MAPMO, LMR, LMPT, LMAP, LMAC, LMA, LJAD, LAMFA, IRMA, IMTV, IECL, I2M, BioSP, XLIM, LMIA-MIPS D2019: MMN, IMJ-PRG, SAMM, LPSM, LDAR, LJLL, MAP5, LAGA, CEREMADE, DMA, CAMS E2020: UMA, MODALX, MICS, MIA, MAIAGE, LPP, LMV, LMPA, LMO, LML, LaMME, LAMAV, LAMA, CMLS, CMAP, CGB, CERMICS, AGM A2021: MISTEA, MIAT, IMAG, ENAC B2022: LAMIA</p>

285. Voir liste des laboratoires du corpus en annexe E.

Années	Laboratoires concernés ²⁷⁵
<p>Vague 3</p> <p>3^e évaluation complète : évaluations vagues D2019 à C2023 (sauf LMAC, LAMFA, ERIM en C2018)</p>	<p>C2018: ERIM, LAMFA, LMAC D2019: MMN, IMJ-PRG, SAMM, LPSM, LDAR, LJLL, MAP5, LAGA, CEREMADE, DMA, CAMS E2020: UMA, MODALX, MICS, MIA, MAIAGE, LPP, LMV, LMPA, LMO, LML, LaMME, LAMAV, LAMA, CMLS, CMAP, CGB, CERMICS, AGM A2021: ICJ, IF, IMAG, IMT, LAMA, LJK, LMBP, UMPA, ENAC, LAMPS, MIAT, MISTEA B2022: IMB, IRMAR, LAREMA, LMA, LMAH, LMAP, LMBA, LMI, LMJL, LMM, LMNO, LMRS, MIA, STATSC, LAMIA, XLIM C2023: BioSP, GAATI, I2M, IDP, IECL, IMATH, IMB, IRIMAS, IRMA, LJAD, LMA, LMB, LMRv</p>

La récolte quantitative des données de la vague 3 a permis de dresser un instantané de l'activité des laboratoires du Corpus. La raison principale de cette dernière récolte est, à partir de la vague D2019 et jusqu'à la vague C2023, la présence d'onglets supplémentaires correspondant à des données de production et d'activité liées à la recherche (dont interactions avec les entreprises et la société) dans les dossiers d'autoévaluation.

Toutes les données ont été recoupées entre les onglets disponibles. Dans le cas d'incohérence entre les données synthétisant les effectifs et les listes de personnels, ces dernières ont été privilégiées. À noter que les données ne sont pas formatées de la même façon selon les vagues (sur différents onglets, ou tous les personnels titulaires ou pas dans un seul onglet, ou tous les personnels titulaires dans un seul onglet). Les effectifs ont été comptés en nombre de personnes. Les BAP des personnels ingénieurs, techniciens et administratifs notées I et G ont été intégrées dans la BAP J (administratif) pour plus de lisibilité.

Concernant la vague 3, les données relatives à la production sous tous ses aspects ont également été récoltées. ●

DONNÉES SUR LES EFFECTIFS DANS LES LABORATOIRES DU CORPUS (VAGUES 1 ET 2)

Les effectifs des chercheurs ont connu une légère embellie, confirmée par les différents chiffres affichés par les EPST (établissement public à

caractère scientifique et technologique, c'est-à-dire le CNRS, l'Inrae, l'Inria, l'Ined, l'Inserm et l'IRD).

Tableau 12

Tableau des effectifs en fonction des CNU

	2000	2010	2020	Évolution sur 20 ans
CNU 25	1567	1438	1260	-19.6 %
CNU26	1727	1775	1781	+3.1 %
Total	3294	3213	3041	-7.7 %

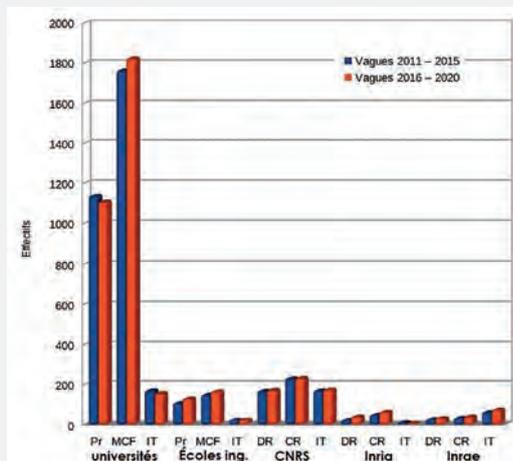
Chiffres du MIESR

Il y a une grande différence entre les données extraites des rapports Hcéres et celles émanant du ministère (Tableau 12) concernant les EC. Ces dernières sont en forte cohérence avec une enquête récente²⁸⁶ menée par le Conseil Scientifique de l'Insmi sur la disparition de postes d'enseignants-chercheurs (EC) au sein des laboratoires de mathématiques, **suite à des départs à la retraite ou des mutations**. Le lecteur trouvera dans le numéro 172 de la Gazette de la société mathématique de France²⁸⁷ une analyse des résultats de cette enquête qui souligne une baisse substantielle du potentiel de recherche au sein de ces unités, tout particulièrement en province. Des éléments d'analyse sont donnés page de droite.

Les raisons de la distorsion entre ces différentes données ne sont pas aisées à identifier. Le fait que les périodes ne soient pas les mêmes ne suffit pas à expliquer les différences observées. L'augmentation du nombre de postes de chercheurs ou de chercheuses au CNRS et à l'Inria ne suffit pas non plus à expliquer cette différence. Une raison plus fondamentale vient du fait que les périmètres de ces analyses sont différents. Les évaluations scientifiques du Hcéres mises à la disposition du comité SNM ne prennent en compte que **les personnels EC émargeant explicitement aux entités de recherche** listées ci-dessus. Les EC ne faisant pas (ou plus) partie de ces laboratoires ne sont pas pris en compte. Il s'agit d'EC n'ayant plus d'activité de recherche et se consacrant prioritairement aux activités pédagogiques et administratives au sein des établissements, remplissant des missions essentielles et chronophages pour l'ensemble de la communauté. Au cours de la période analysée, lorsque ces personnels sont partis à la retraite et que le poste a été remis au concours, **ils ont été remplacés par des personnels actifs en recherche, contribuant ainsi à l'augmentation du potentiel du laboratoire**. Enfin, au niveau méthodologique, les effectifs Hcéres prennent

Figure 36

Évolutions des effectifs



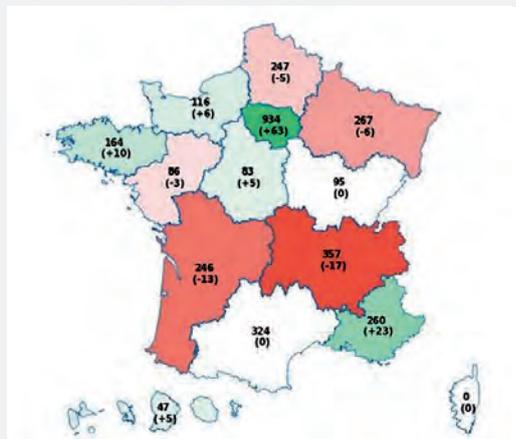
Données issues de l'analyse du corpus Hcéres de laboratoires (vagues 1 et 2)

286. https://framacarte.org/fr/map/evolution-des-postes-en-maths-sur-10-ans_93553, Données du CS de l'Insmi.

287. La Gazette de la société mathématique de France n. 172, Avril 2022.

Figure 22

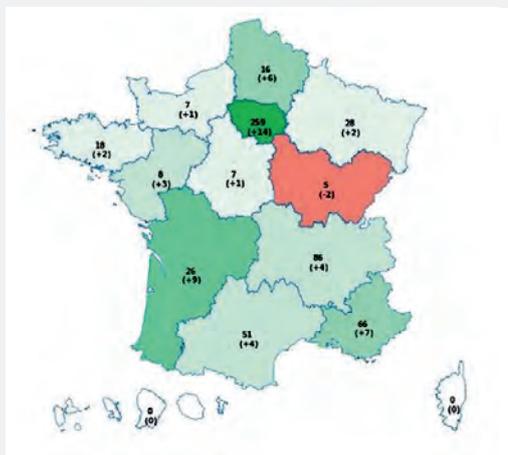
Évolution des effectifs enseignants-chercheurs (universités et écoles) par région entre vague 1 (2011-2015) et vague 2 (2016-2020)



Corpus Hcéres de laboratoires

Figure 23

Évolution des effectifs chercheurs (CNRS, Inria, Inrae) par région entre vague 1 (2011-2015) et vague 2 (2016-2020)



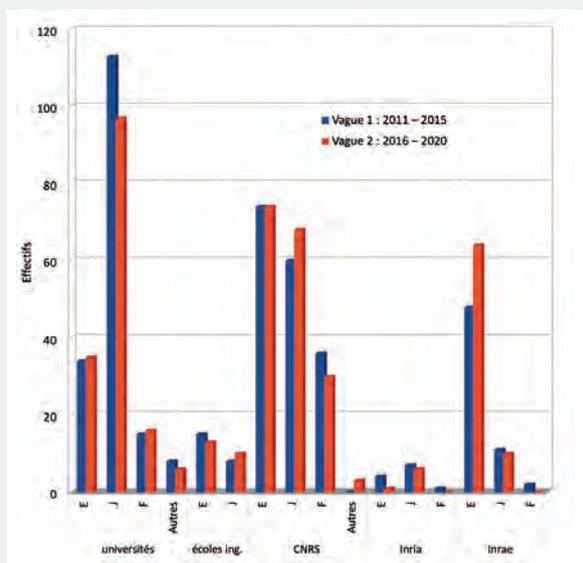
Corpus Hcéres de laboratoires

en compte des personnels de recherche non mathématiciens dans quelques laboratoires en interaction, et certaines mathématiciennes et mathématiciens n'émargeant pas dans des laboratoires de mathématiques n'apparaissent pas²⁸⁸. ●

288. L'esprit des évaluations de laboratoires est d'évaluer des unités de recherches, même quand elles sont en interactions, pas des individus.

Figure 27

Évolution des effectifs par BAP et employeurs entre 2011-2015 et 2016-2020



Données issues de l'analyse des laboratoires du Corpus Hcéres vagues 1 et 2.

DONNÉES SUR LES EFFECTIFS DES PERSONNELS D'APPUI (VAGUES 1 ET 2)

Les ingénieurs, ingénieures, techniciens et techniciennes sont regroupés, au sein de l'enseignement supérieur et de la recherche, au sein de branches d'activité professionnelles (BAP).

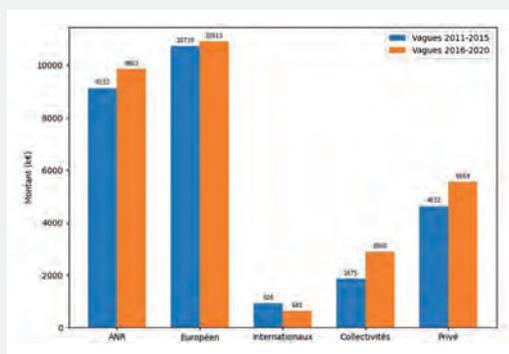
Les personnels des laboratoires de mathématiques appartiennent majoritairement aux BAP E (informatique, statistique et calcul scientifique), BAP J (gestion et pilotage) et BAP F (culture, communication, production et diffusion des savoirs).

La BAP I (gestion scientifique et technique des établissements), qui a été intégrée à la BAP J, et la BAP G (patrimoine, logistique) n'apparaissent pas dans le tableau. ●

DONNÉES SUR LE FINANCEMENT DE LA RECHERCHE (VAGUES 1 ET 2)

Figure 24

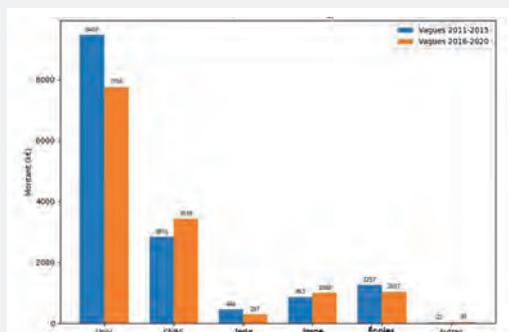
Financements sur AAP, comparaison entre les vagues 1 (2011-2015) et 2 (2016-2020)



Source corpus Hcéres de laboratoires, annexe D

Figure 25

Financements récurrents, comparaison entre les vagues 1 (2011-2015) et 2 (2016-2020)



Source corpus Hcéres de laboratoires, annexe D

La baisse des financements récurrents constatée entre les deux périodes 2011-2015 et 2016-2020 est compensée par une hausse des financements sur AAP et des ressources propres; le budget global des laboratoires de mathématiques présente ainsi une évolution positive de l'ordre de 3 % entre les deux périodes, comme le résume le tableau suivant. ●

Tableau 13

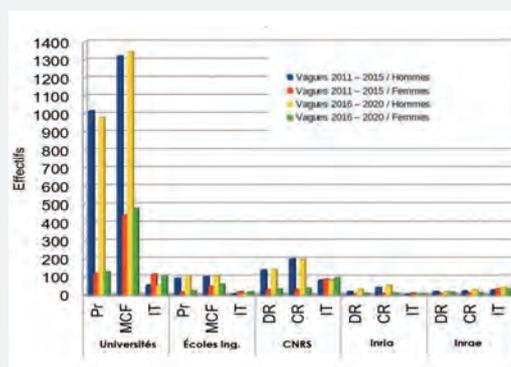
Le financement des laboratoires du corpus Hcéres

	2011-2015	2016-2020
Financements récurrents	14 888 k€	13 567 k€
Financements sur AAP et autres	27 306 k€	29 885 k€
Total	42 194 k€	43 452 k€

DONNÉES SUR L'ÉVOLUTION DE LA PARITÉ (VAGUES 1 ET 2)

Figure 35

Évolution de la parité dans les effectifs. Source: vagues 1 et 2 du corpus Hcéres de laboratoires (cf. annexes D et E)



En complément de la Figure 35, les chiffres qui suivent sont extraits des évaluations Hcéres. Ces chiffres s'inscrivent dans la logique des analyses menées depuis de longues années, qui montrent un déséquilibre homme/femme stabilisé à ces étages depuis plus de 20 ans. Nous renvoyons à la section 3.8, ainsi qu'au site « Femmes et Mathématiques »²⁸⁹ pour une analyse plus poussée de la situation. ●

	Vague 1: Période 2011-2015	Vague 2: Période 2016-2020
Hommes	3 653 (soit 76.1 %)	3 614 (soit 75.1 %)
Femmes	1 145 (soit 23.9 %)	1 195 (soit 24.9 %)

289. Femmes et Mathématiques: statistiques détaillées enseignement supérieur et recherche <https://femmes-et-maths.fr/enseignement-superieur-et-recherche/statistiques/>

DONNÉES BRUTES DE CARACTÉRISATION ISSUES DE L'ANALYSE DU CORPUS HCÉRES DE LABORATOIRES (VAGUE 3: D2019 À C2023)

Nombre de laboratoires du corpus

Nb total de laboratoires du corpus	73
Dont Nb de laboratoires du corpus se déclarant en interaction	17

Tutelles et partenaires

Nb d'universités tutelles d'un des laboratoires du corpus	57
Nb d'écoles d'ingénieurs tutelles ou partenaires d'un laboratoire	35

Personnels de recherche permanents (PRP)

Nb de PR ou assimilés	1211
Nb de MCF	1911
Nb de CR	360
Nb de DR	282
Nb de PRAG	56
Nb de personnels de recherche permanents divers	11
Nb total de personnels de recherche permanents (PRP)	3831

Personnels de recherche non permanents (PRNP)

Nb EC et C non permanents, émérites et autres (sauf doctorants)	754
Nb doctorants	2262
Nb total de personnels de recherche non permanents	3310

Personnels d'appui à la recherche et autres

Nb personnels d'appui à la recherche (PAR) ITA	262
Nb PAR Biatss	226
Nb total PAR permanent	488
Autres personnels non C ou EC et non permanents	294
Dont Nb de PAR sur CDD	140
Nb total de PAR et autres	782
Dont Nb total de PAR	628
Taux de précarité des PAR	22,3 %

DONNÉES SUR LES PRODUITS ET ACTIVITÉS DE LA RECHERCHE (VAGUE 3: D2019 À C2023)

À noter que les données cumulées ci-dessus sont pour certaines peu pertinentes, en raison des publications communes de plusieurs auteurs de différents laboratoires, et des copublications avec des auteurs étrangers ou hors des laboratoires du corpus. ●

	Cumulé laboratoires, par an ²⁹⁰ (produits comptés plusieurs fois si plusieurs laboratoires du corpus impliqués)
Nb d'articles	5 298
Nb de monographies	80
Nb de chapitres de livre	259
Nb actes de confs	1 324
Nb de logiciels	140
Nb de produits vulgarisation, art-sciences, médias	330

290. La période de prise en compte des produits et activités de la recherche lors des évaluations des unités de recherche par le Hcéres est de 5,5 ans.

	Cumulé laboratoires du corpus Sur la durée du contrat ²⁸⁰
Nb de doctorants accueillis sur le contrat quinquennal	902 par an
Nb contrats publics et institutions en tant que porteurs ou nœud de projet (ANR, ERC, collectivités)	391 par an
Nb de contrats R&D en tant que porteurs	130 par an
Nb de dispositifs Cifre	62 par an
Nb de start-up créées	21

	Cumulé laboratoires du corpus Dernière année d'évaluation
Dotation récurrente	12,84 M€
Ressources propres	50,18 M€

E. LISTE DES 73 LABORATOIRES DE RECHERCHE ACADÉMIQUE DU CORPUS HCÉRES

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Laboratoires du corpus

ICJ ²⁹¹	Institut Camille Jordan (Lyon, Saint-Étienne)
IF	Institut Fourier (Grenoble)
LAMA	Laboratoire de Mathématiques (Chambéry)
LJK	Laboratoire Jean Kuntzmann (Grenoble)
LMBP	Laboratoire de Mathématiques Balise Pascal (Clermont-Ferrand)
UMPA	Unité de Mathématiques Pures et Appliquées (Lyon)

Laboratoires hors corpus

S2HEP	Sciences, Société, Historicité, Éducation et Pratiques (Lyon)
LISC	Complex System Lab (Aubière)
SAF	Laboratoire de Sciences Actuarielle et Financière (Lyon)
LICIT	Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transports (Lyon)
LIP	Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme (Lyon)

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Laboratoires du corpus

IMB	Institut de Mathématiques de Bourgogne (Dijon)
LMB	Laboratoire de Mathématiques de Besançon (Besançon)

BRETAGNE

Laboratoires du corpus

IRMAR	Institut de Recherche Mathématique de Rennes (Rennes)
LMBA ²⁹²	Laboratoire de Mathématiques de Bretagne-Atlantique (Brest, Vannes)

CENTRE-VAL DE LOIRE

Laboratoires du corpus

IDP ²⁹³	Institut Denis Poisson (Orléans et Tours)
--------------------	---

GRAND EST

Laboratoires du corpus

IECL ²⁹⁴	Institut Élie Cartan de Lorraine (Nancy, Metz)
IRIMAS ²⁹⁵	Institut de Recherche en Info., Math., Automatique et Signal (Mulhouse)
IRMA	Institut de Recherche Mathématique Avancée (Strasbourg)
LMR	Laboratoire de Mathématiques de Reims (Reims)

291. A fusionné avec le LAMUSE (Saint-Étienne) en 2011.

292. Né de la fusion en 2012 du LMB (Brest) et du LMAM (Vannes).

293. Né de la fusion en 2018 du MAPMO (Orléans) et du LMPT (Tours).

294. Né de la fusion en 2012 de l'IECN (Nancy) et du LMAM (Metz).

295. Né de la fusion en 2022 du MIPS et du LMIA.

HAUTS-DE-FRANCE

Laboratoires du corpus

CERAMATHS ²⁹⁶	Lab. de rech. Fond. et appl. en Math. et sci. des matériaux Céramiques (Valenciennes)
LAMFA	Laboratoire Amiénois de Mathématique Fondamentale et Appliquée (Amiens)
LMAC	Laboratoire de Mathématiques Appliquées de Compiègne (Compiègne)
LML	Laboratoire de Mathématiques de Lens (Lens)
LMPA	Laboratoire de Mathématiques Pures et Appliquées Joseph Liouville (Calais)
LPP	Laboratoire Paul Painlevé (Lille)

ÎLE-DE-FRANCE

Laboratoires du corpus

CAMS	Centre d'analyses et de mathématiques sociales (Paris)
DMA	Département de Mathématiques et Applications (Paris)
LPSM ²⁹⁷	Laboratoire de Probabilités, Statistique et Modélisation (Paris)
LJLL	Laboratoire Jacques-Louis Lions (Paris)
LAGA ²⁹⁸	Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications (Villetaneuse)
CEREMADE	Centre de Recherche en Mathématiques de la Décision (Paris)
IMJ-PRG	Institut de mathématiques de Jussieu - Paris Rive Gauche (Paris)
LDAR	Laboratoire de Didactique André Revuz (Paris)
MAP5	Mathématiques Appliquées à Paris 5 (Paris)
SAMM	Statistique, Analyse, Modélisation Multidisciplinaire (Paris)
MODAL'X ²⁹⁹	Modélisation aléatoire de Paris Nanterre (Nanterre)
LMV	Laboratoire de mathématiques de Versailles (Versailles)
AGM	Analyse, géométrie et modélisation (Cergy-Pontoise)
LMO	Laboratoire de mathématiques d'Orsay (Orsay)
UMA	Unité de mathématiques appliquées (Palaiseau)
CB ³⁰⁰	Centre Borelli (Gif-sur-Yvette)
CMAP	Centre de mathématiques appliquées (Palaiseau)
CMLS	Centre de mathématiques Laurent Schwartz de l'École polytechnique (Palaiseau)
MIA	Mathématiques et informatique appliquées (Palaiseau)
LaMME ³⁰¹	Laboratoire de mathématiques et modélisation d'Évry (Évry)
CERMICS	Centre d'Enseignement et de Recherche en Math. et Calcul Sci. (Marne-la-Vallée)
LAMA	Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées (Champs-sur-Marne, Créteil)
MICS ³⁰²	Mathématiques et Informatique pour la Complexité et les Systèmes (Gif-sur-Yvette)
MAIAGE ³⁰³	Math. et Info. Appliquées du Génome à l'Environnement (Jouy-en-Josas)
M2N	Modélisation Mathématique et Numérique (Paris)

296. Né de la fusion en 2022 du LMCPA, du LAMAV et du LMI. Seules les données du LAMAV ont été extraites.

297. Né de la fusion en 2018 du LPMA et du LSTA.

298. Données financières non extraites.

299. Données financières non extraites.

300. Né de la fusion en 2022 du CMLA et de Cognac-G. Seules les données du CMLA ont été extraites.

301. Né de la fusion en 2014 du LAP et du LSG.

302. Anciennement MAS jusqu'en 2016.

303. Né de la fusion en 2015 de MIA-Jouy et MIG.

Laboratoires hors corpus

BioSTDM	Biostatistique, traitement et modélisation des données biologiques (Paris)
FdM ³⁰⁴	Fédération de mathématiques de l'École centrale Paris (Gif-sur-Yvette)
LAG-IHES	Laboratoire Alexander Grothendieck (Bures-sur-Yvette)
CREST	Center for Research in Economics and Statistics (Palaiseau, Bruz)
CNRGH	Centre National de Recherche en Génomique Humaine (Évry)
LEMMA	Laboratoire d'Économie Mathématique et de Micro-économie Appliquée (Paris)
Math&Syst	Mathématiques et Systèmes (Paris)
UMMISCO	Unité de Modélisation Math. et Info. des Systèmes Complexes (Bondy, Paris)
LTCI	Laboratoire Traitement et Communication de l'Information (Palaiseau)
LAMSADE	Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision (Paris)
GSA	Géométrie Structure Architecture (Paris)
LHSV	Laboratoire d'hydraulique Saint-Venant (Marne-la-Vallée)
IPhT	Institut de Physique Théorique (Saclay)
LIGM	Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge (Marne-la-Vallée)
IRIF	Institut de Recherche en Informatique Fondamentale (Paris)
CEREA	Centre d'Enseignement et de Rech. en Environnement Atmosph. (Marne-la-Vallée)
LISIS	Laboratoire Interdisciplinaire Sciences, Innovations, Sociétés (Paris)

NORMANDIE**Laboratoires du corpus**

LMAH	Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre (Le Havre)
LMI	Laboratoire de Mathématiques de l'INSA Rouen Normandie (Rouen)
LMNO	Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme (Caen)
LMRS	Laboratoire de Mathématiques Raphaël Salem (Rouen)

NOUVELLE-AQUITAINE**Laboratoires du corpus**

IMB	Institut de Mathématiques de Bordeaux (Talence)
LMA	Laboratoire de Mathématiques et Applications (Poitiers)
LMAP	Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications (Pau)
MIA	Mathématiques, Image, Applications (La Rochelle)
XLIM ^{305*}	Institut de recherche XLIM (Limoges, Poitiers)

OCCITANIE**Laboratoires du corpus**

ENAC-Lab	Laboratoire de recherche ENAC (Toulouse)
IMAG	Institut Montpellierain Alexander Grothendieck (Montpellier)
IMT	Institut de mathématiques de Toulouse (Toulouse)
LAMPS	Laboratoire de Modélisation Multidisciplinaire et Simulations (Perpignan)
MIAT	Unité de Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse (Toulouse)
MISTEA	Math., Info. et Statistique pour l'Environnement et l'Agronomie (Toulouse)

Laboratoires hors corpus

TSE-R	Toulouse School of Economics – Recherche (Toulouse)
ISAE-SUPAERO-R	Isae Supaero Recherche (Toulouse)

304. Fédération accueillant du personnel de Centrale-Supélec.

305. Ne sont prises en compte que les données de l'axe MATHIS et pas les données financières du laboratoire.

OUTRE-MER

Laboratoires du corpus

GAATI	Géométrie Algébrique et Applications à la Théorie de l'Information (Faaa en Polynésie)
ERIM	Équipe de Recherche en Info. et Math. (Nouméa en Nouvelle Calédonie)
LAMIA	Laboratoire de Math., Informatique et Applications (Guadeloupe et Martinique)

Laboratoires hors corpus

LIM	Laboratoire d'informatique et de mathématiques (Sainte-Clotilde à La Réunion)
MEMIAD	Management, Éco., Modé., Info. et Aide à la Décision (Guadeloupe et Martinique)

PAYS DE LA LOIRE

Laboratoires du corpus

LAREMA	Laboratoire Angevin de Recherche en Mathématiques (Angers)
LMJL	Laboratoire de Mathématiques Jean Leray (Nantes)
LMM	Laboratoire Manceau de Mathématiques (Le Mans)
StatSC	Statistique, Sensométrie, Chimiométrie (Nantes)

Laboratoires hors corpus

GEM	Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (Nantes)
-----	--

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Laboratoires du corpus

BioSP	Biostatistique et processus Spatiaux (Avignon)
I2M306	Institut de Mathématiques de Marseille (Marseille)
IMATH	Institut de Mathématiques de Toulon (Toulon)
LJAD	Laboratoire Jean Alexandre Dieudonné (Nice)
LMA	Laboratoire de Mathématiques d'Avignon (Avignon)

Laboratoires hors corpus

CPT	Centre de Physique Théorique (Toulon)
-----	---------------------------------------

306.Né de la fusion en 2014 du LATP (Marseille) et de l'IML (Marseille).

F. LISTES DES STRUCTURES DU RÉSEAU DE LA RECHERCHE MATHÉMATIQUE

LISTE DES GROUPEMENTS DE RECHERCHE (GDR) DE L'INMSI DU CNRS

GDR2000	Matrices Et Graphes Aléatoires - MEGA
GDR2051	Trajectoires Rugueuses - TRAG
GDR2052	Équations Fonctionnelles et Interactions - EFI
GDR2075	Didactique et Épistémologie des Math., interactions info. Physique dans le Supérieur - Demips
GDR2076	Calcul des variations et théorie géométrie de la mesure - Calva
GDR2105	Tresses - Tresses
GDR2118	Analyse Fonctionnelle, Harmonique et Probabilités - AFHP
GDR2251	Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs en Arithmétique - JC2A
GDR2286	Mathématiques de l'Imagerie et de ses Applications - MIA
GDR2434	Analyse des équations aux dérivées partielles - AEDP
GDR2439	Mathématiques pour l'énergie nucléaire - MANU
GDR2875	Théorie de l'homotopie et applications - THA
GDR2932	Théorie des Jeux: « Modélisation Mathématique et Applications » - JEMMA
GDR2945	Singularités et applications - Singularités
GDR2947	Géométrie non commutative - GNC
GDR3064	Géométrie algébrique et géométrie complexe - GAGC
GDR3179	Méthodes d'Analyse Stochastiques des Codes et Traitements Numériques - Mascot-Num
GDR3273	Mathématiques de l'Optimisation et Applications - MOA
GDR3274	Dynamique Quantique - DYNQUA
GDR3275	Calcul - Calcul
GDR3340	Renormalisation : aspects algébriques, analytiques et géométriques - Renormalisation
GDR3341	Géométrie, Arithmétique et Probabilités - PLATON
GDR3395	Théorie de Lie Algébrique et Géométrie - TLAG
GDR3398	Histoire des mathématiques - HDM
GDR3471	Mathématiques, SAnté, sciences de la Vie - MathSAV
GDR3475	Analyse Multifractale - Multifractal
GDR3476	Statistique et santé - Stat-Santé
GDR3477	Géométrie Stochastique - Géo-Sto
GDR3485	MathGéoPhy

LISTE DES LABEX IMPLIQUANT DES MATHÉMATIQUES

Bézout	(Est de Paris, Intégré à l'isite FUTURE)
Archimède	(Aix-Marseille, intégré à l'idex AMIDEX)
IRMIA	(Alsace, intégré à l'idex UNISTRA)
CEMPI	(Lille, intégré à l'isite ULNE)
AMIES	(labex en réseau, intégré à l'idex UGA)
SMP	(même périmètre que la FSMP, intégré à l'idex SUPER)
LMH	(porté par la FMJH)

Centre Henri Lebesgue (Bretagne et Pays de Loire, hors idex-isite)
MILYON (Lyon Saint-Étienne, hors idex-isite)
Carmin (labex en réseau, intégré à l'idex Sorbonne Universités)
CIMI (Occitanie Ouest, hors idex-isite)

Par ailleurs, l'EUR MINT (Toulouse) est le seul EUR de mathématiques, le labex Calsimlab a été intégré à Sorbonne Université, le labex Persyval (Grenoble, informatique-mathématiques) est intégré à l'idex UGA. Plusieurs autres labex multi-thématiques ont en leur sein des laboratoires de mathématiques, comme NUMEV (Montpellier) ou MME-DII (Île-de-France)

LISTE DES 12 FÉDÉRATIONS DE RECHERCHE DE L'INSMI DU CNRS

FR2011	Fédération Bourgogne Franche-Comté Mathématiques (BFC-Mathématiques)
FR2036	Fédération Parisienne de Modélisation Mathématique (FP2M)
FR2037	Fédération de Recherche Mathématique des Hauts-de-France (FMHF)
FR2045	Fédération mathématique de recherche en région aquitaine (MARGAUX)
FR2291	Fédération de recherche des unités de mathématiques de Marseille (FRUMAM)
FR2952	Institut Pluridisciplinaire de recherche appliquée en génie pétrolier (IPRA)
FR2962	Fédération de recherche Mathématiques des Pays de Loire (FMPL)
FR3198	Fédération Charles Hermite (FCH)
FR3335	Fédération de Recherche Normandie-Mathématiques
FR3487	Fédération de mathématiques de CentraleSupélec
FR3490	Fédération de Recherche en Mathématiques Auvergne-Rhône-Alpes (MARA)
FR3522	Fédération de recherche Bézout (BEZOUT)

LISTE DES UNIVERSITÉS ACCUEILLANT UN LABORATOIRE DU CORPUS

Université Claude Bernard Lyon 1	Université Paris Cité
Université Jean Monnet	Université Paris Dauphine
Université Grenoble Alpes	Université PSL (Paris Sciences & Lettres)
Université Savoie Mont Blanc	Sorbonne Université
Université Clermont Auvergne	Université Gustave Eiffel
	Université Paris Nanterre
Université de Bourgogne	Université Paris-Est Créteil Val de Marne
Université de Franche-Comté	Université Sorbonne Paris-Nord
	Université Paris-Saclay
Université de Rennes 1	CY Cergy Paris Université
Université Rennes 2	Université d'Évry-Val-d'Essonne
Université de Bretagne Occidentale	Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines
Université Bretagne Sud	
	Université de Bordeaux
Université d'Orléans	Université de Poitiers
Université de Tours	Université de Pau et des Pays de l'Adour
	Université de La Rochelle
Université de Lorraine	Université de Limoges
Université de Haute-Alsace	
Université de Strasbourg	Université de Montpellier
Université de Reims Champagne-Ardenne	Université Toulouse 1 Capitole
	Université Toulouse - Jean Jaurès
Université polytechnique Hauts-de-France	Université de Toulouse 3 - Paul Sabatier
Université de Picardie Jules-Verne	Université de Perpignan
Université de Technologie de Compiègne	
Université d'Artois	Université de la Polynésie française
Université du Littoral Côte d'Opale	Université de la Nouvelle Calédonie
Université de Lille	Université des Antilles
	Université de La Réunion
Université du Havre	
Université de Rouen	Avignon Université
Université de Caen Normandie	Aix-Marseille Université
	Université de Toulon
Université d'Angers	Université Côte d'Azur
Le Mans Université	
Nantes Université	

**LISTE DES ÉCOLES D'INGÉNIEURS (OU GROUPEMENTS D'ÉCOLES)
ET DES ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES TUTELLES OU PARTENAIRES
D'UN LABORATOIRE DU CORPUS**

Grenoble INP
 Bordeaux INP
 Toulouse INP
 Centrale Supélec
 École centrale de Lyon
 École centrale de Nantes
 École centrale de Marseille
 École centrale de Lille
 Insa Lyon
 Insa Rouen
 Insa Toulouse
 Insa Rennes
 Insa Hauts-de-France
 Insa Centre Val de Loire
 École des hautes études en sciences sociales
 Telecom sud Paris
 Institut mines-telecom
 École polytechnique
 École des ponts ParisTech
 Ensta Paris
 GENES (regroupant Ensaie Paris, Ensai, Ensaie-Ensaie formation continue et le CREST)
 ENSIIE Évry
 Agro ParisTech
 Agrocampus ouest
 Montpellier supagro
 Oniris Nantes
 Enac Toulouse
 Isae Toulouse
 Isae Supmeca
 Isae Supaero
 3IL Ingénieurs
 Cnam
 Esitpa
 INPL
 ENSMM
 École normale supérieure Paris Sciences & Lettres
 École normale supérieure Paris-Saclay
 École normale supérieure de Lyon
 École normale supérieure de Rennes



RETROUVEZ-NOUS
EN LIGNE

 [hceres.fr](https://www.hceres.fr)

 [Hcéres](https://www.youtube.com/Hceres)

 [@Hceres_](https://twitter.com/Hceres_)

 [Hcéres](https://www.linkedin.com/company/hceres)