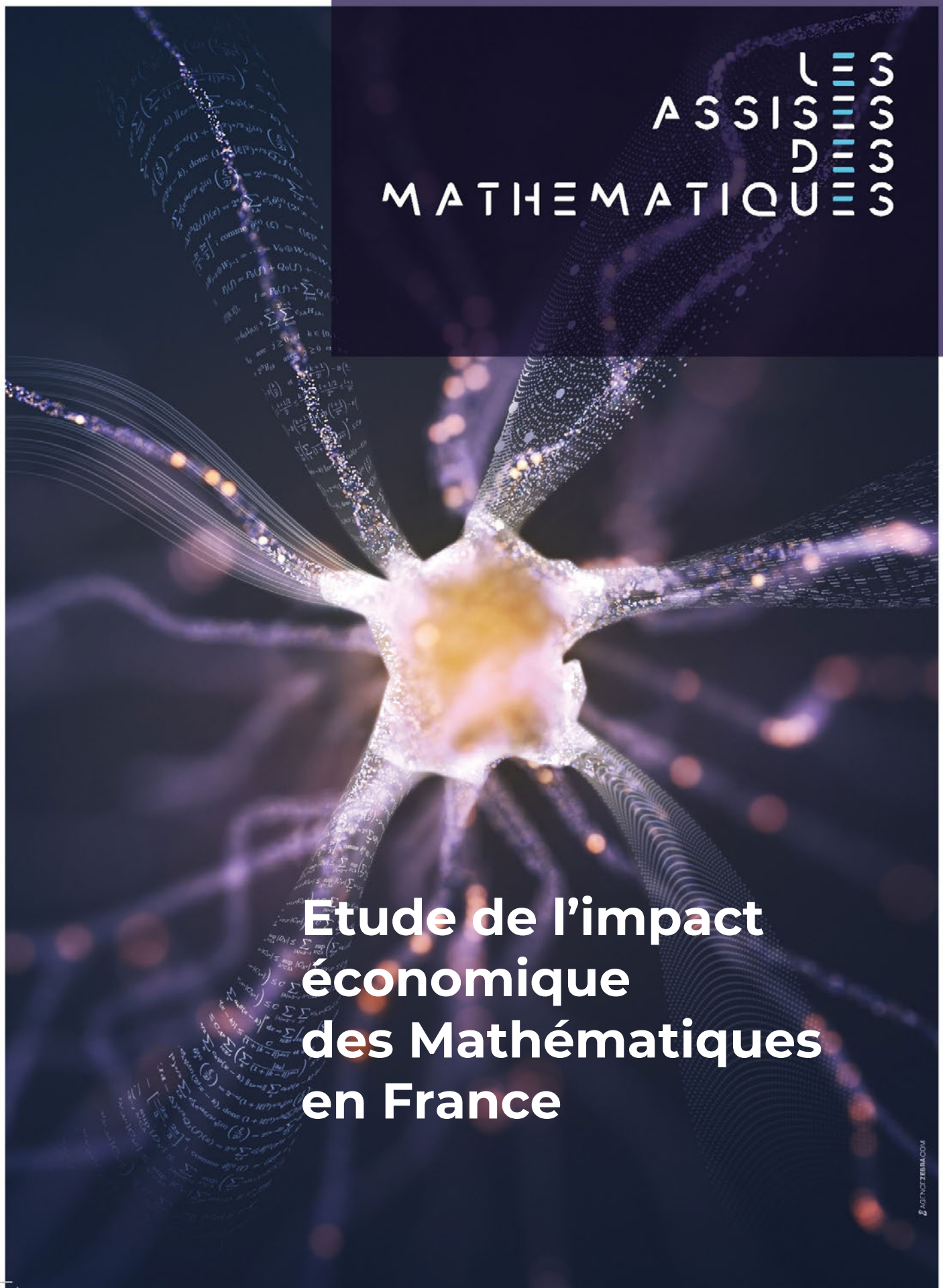
LES ASSISES DES MATHEMATIQUES



Etude de l'impact économique des Mathématiques en France

Table des matières

Préface de M. le Ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique 5

Le mot du directeur de l'Insmi 6

Introduction 8

Partie 1 Les mesures de l'impact économique des mathématiques 12

1. Les mathématiques, une part significative dans l'emploi en France 13

1.1 Un impact direct sur 13 % des emplois salariés 13
1.2 Une concentration des emplois en Île-de-France 14
1.3 Les professions les plus impactées par les mathématiques 15
1.4 Un impact sur l'emploi comparable, voire supérieur, à d'autres pays européens 18

2. Une contribution significative au PIB de la France 19

2.1 Une contribution au PIB de l'ordre de 18 % en 2019 19
2.2 Une contribution comparable, voire supérieure, à d'autres pays européens 20

3. La composition des secteurs les plus contributifs en emplois impactés par les mathématiques 22

3.1 Les 15 secteurs les plus contributifs, 80 % des emplois impactés par les mathématiques 22
3.2 La croissance plus dynamique des secteurs les plus riches en emplois impactés par les mathématiques 23
3.3 La contribution importante des secteurs de l'industrie et de la technologie 23

4. Regard prospectif sur l'évolution de la demande de compétences mathématiques et technologiques en 2030 24

Partie 2 La contribution des mathématiques à l'économie et l'adéquation aux besoins des entreprises 27

1. Développement de la connaissance mathématique transposable aux enjeux des acteurs économiques 28

1.1 L'orientation de la recherche en mathématiques vers de nouveaux domaines d'études plus applicatifs et en lien avec d'autres sciences 28
1.2 La connaissance et la recherche transversales et multidisciplinaires davantage plébiscitées 29

2. Des compétences mathématiques pertinentes et lisibles pour répondre aux besoins des secteurs économiques 30

2.1 Une inadéquation entre l'offre et la demande de compétences mathématiques 30
2.1.1 Les compétences mathématiques intermédiaires et avancées sont recherchées par les entreprises 30
2.1.2 Certaines entreprises interrogées déplorent une diminution des compétences en mathématiques de base ou intermédiaires chez leurs salariés, à laquelle ils tentent de remédier en développant une formation continue 31
2.2 Le rôle des formations en mathématiques dans la production de compétences pertinentes pour les secteurs économiques 31

3. Valorisation du transfert de savoirs et des collaborations entre mondes économique et académique 33

3.1 Des collaborations entre le monde académique et les entreprises diverses mais peu développées 33
3.2 Des causes diverses pour expliquer le peu de collaborations 36
3.3 La lisibilité et l'accès pour les entreprises à la communauté scientifique mathématique, un facteur de collaboration 37
3.4 L'intensification des dispositifs de collaboration recherche-entreprises 37

4. Pistes d'amélioration des débouchés professionnels des mathématiciens 39

4.1 Une politique d'image de marque pour les mathématiques françaises 39
4.2 Les passerelles vers le secteur privé pour les docteurs en mathématiques 39
4.3 Un élargissement des perspectives d'évolution des docteurs en mathématiques dans le secteur privé 40

Partie 3 Evolution de la recherche et de la formation françaises en mathématiques 41

1. Les mathématiques, une discipline d'excellence pour la recherche française 42

1.1 La France, un pays de mathématiques 42
1.1.1 Les mathématiques représentent le premier grand domaine de spécialisation de la recherche en France 42
1.1.2 La recherche française, en comparaison internationale, est davantage spécialisée en mathématiques que dans d'autres pays 43

1.2 L'évolution des effectifs de chercheurs en mathématiques et leurs domaines de recherche 44
1.2.1 La recherche publique en mathématiques compte au moins 3 500 chercheurs permanents, dont le recensement peut être complexe 44
1.2.2 Les effectifs d'enseignants-chercheurs en mathématiques au sein des universités et des établissements d'enseignement supérieur ont diminué depuis les années 2000 45
1.3 La reconnaissance des mathématiques françaises à l'étranger 48
1.3.1 Les mathématiciens français sont régulièrement primés 48
1.3.2 Si les universités françaises sont en tête du classement dit de Shanghai en mathématiques, elles connaissent des résultats contrastés au sein des autres classements internationaux 48
1.4 Le recul de la position de la recherche française dans le monde depuis les années 2000 50
1.4.1 En matière bibliométrique, la recherche française en mathématiques voit sa part dans les publications mondiales de la discipline diminuer depuis les années 2000 50
1.4.2 Néanmoins au sein des revues les plus sélectives, la recherche française en mathématiques conserve son rang de deuxième pays mathématique du monde 51
1.4.3 Les mathématiques fondamentales représentent la moitié des publications françaises en mathématiques 52
1.5 Les mathématiques encore peu représentées dans les grands programmes de recherche sur appel à projets français et européens 54
1.5.1 En Europe, si la France occupe, avec le Royaume-Uni, la tête des pays qui reçoivent le plus de bourses européennes (ERC) pour des projets mathématiques, elle perçoit un montant par projet plus faible que le Royaume-Uni 54
1.5.2 En France, le nombre et le montant des projets de recherche mathématique financés par l'Agence nationale de la recherche connaissent une baisse significative depuis 2008 56
1.5.3 Dès lors, la question de l'adéquation entre la discipline mathématique et le système de financement sur projet actuel se pose 57

2. Des évolutions contrastées dans les enseignements secondaire et supérieur 57

2.1 La baisse du niveau général des élèves français en mathématiques 57
2.1.1 Le niveau général en mathématiques des élèves en France recensé dans les études internationales PISA et Timss est faible et en baisse 58
2.1.2 Une enquête de la DEPP confirme les tendances décrites par les études internationales relatives à la baisse du niveau général des élèves français toutes origines sociales confondues. 59
2.2 La recomposition des effectifs d'élèves formés aux mathématiques au lycée en raison de la réforme du lycée général et technologique 60
2.2.1 Le nombre d'élèves de terminale générale qui suivent des cours de mathématiques a diminué de près de 30 points entre 2018 et 2020 60

2.2.2 Néanmoins, les élèves formés en mathématiques apparaissent s'orienter davantage vers des formations scientifiques après la réforme..... 61
2.3 Une hausse des effectifs d'étudiants formés en mathématiques dans l'enseignement supérieur 61
2.3.1 L'enseignement supérieur connaît une hausse des effectifs des étudiants qui suivent une formation scientifique 62
2.3.2 Les effectifs des étudiants en mathématiques en licence, master ou doctorat connaissent une croissance significative depuis 2012 et sont concentrés dans les formations d'Île-de-France 63
2.4 Une meilleure insertion des diplômés du supérieur formés en mathématiques..... 65
2.4.1 Les diplômés de masters scientifiques, et notamment en mathématiques, connaissent des taux d'insertion professionnelle élevés..... 65
2.4.2 Les docteurs en mathématiques connaissent également un taux d'insertion élevé et s'orientent davantage vers les secteurs public et académique..... 66
2.4.3 Les diplômés des écoles d'ingénieur ont un taux d'insertion professionnelle élevé et poursuivent leurs carrières dans des secteurs divers..... 67
2.5 Une attrition des effectifs d'enseignants en mathématiques dans l'enseignement primaire et secondaire..... 68
2.5.1 L'enseignement des mathématiques connaît un déficit de candidats alors que le nombre d'étudiants éligibles à se présenter n'a pas baissé 68
2.5.2 Les difficultés de recrutement des professeurs en mathématiques pourraient à terme présenter des risques pour la pérennité de l'enseignement des mathématiques. 70

Conclusions & perspectives pour relever les défis de demain en s'appuyant sur les mathématiques 71

ANNEXES 73

Annexe 1 : Différentes méthodes de calcul de l'impact des mathématiques 74
Annexe 2 : Sources de l'analyse de l'impact des mathématiques 77
Annexe 3 : Chiffre clés sur les CIFRE..... 81
Annexe 4 : Méthodologie des classements internationaux des Universités..... 82
Annexe 5 : La réforme du lycée général et technologique..... 83

Glossaire 86

Table des graphiques..... 88

Préface de M. Bruno Le Maire, Ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique

Les mathématiques sont l'une des disciplines qui mettent régulièrement à l'honneur la formation et les universités françaises dans les classements internationaux. C'est une formidable fierté.

L'actualité l'a de nouveau confirmé, puisqu'Hugo Duminil-Copin a récemment été récompensé de la prestigieuse médaille Fields. Il rejoint Artur Ávila (2014), Cédric Villani et Ngô Bảo Châu (2010), Wendelin Werner (2006) et Laurent Lafforgue (2002) — pour ne citer que les lauréats du 21ème siècle.

Cette excellence, nous la devons à l'héritage d'une longue tradition de mathématiciens et à l'organisation de leur communauté académique, qui lie étroitement enseignement supérieur et recherche. Elle constitue un pôle unique de compétences au service de la connaissance, du savoir et du bien commun.

L'économie et l'industrie française profitent-elles suffisamment de cette richesse ? Probablement pas. L'utilité des mathématiques, leur rapport au réel, sont trop décriés dans notre pays. Pour tirer le maximum de tous nos talents, nous devons pourtant comprendre que les mathématiques sont indispensables à l'innovation et conditionnent notre place parmi les leaders mondiaux de demain.

Avec la Première ministre et la Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, j'encourage ainsi la communauté des mathématiciens à contribuer aux ambitions du plan France 2030. Dans les domaines des transitions environnementales, énergétiques et numériques, leur travail est indispensable à la réussite de ce vaste projet de modernisation. C'est concret. C'est utile. C'est valorisant. C'est nécessaire pour notre pays.

Plus globalement, je souhaite que la communauté des mathématiciens puisse rester au contact des entreprises, des administrations et de la société pour créer, détecter, utiliser les nouveaux outils qui permettront à notre économie de relever ses défis. Nous avons notamment besoin d'une science qui assume la prise de risque, en recherche constante de solutions originales en matière d'intelligence artificielle ou de quantique. Dans tous ces domaines, les méthodes de calcul vont être totalement bouleversées. Dans tous ces domaines, nous devrons recourir à des capacités de modélisation et de simulation de pointe.

La souveraineté économique de la France repose plus que jamais sur sa souveraineté mathématique. Nous disposons d'une avance qu'il est primordial de conserver. Emparons-nous des mathématiques pour les faire vivre, les développer et les transmettre

Le mot du directeur de l'Insmi

© Cyril FRESILLON / CNRS

Christophe Besse
Directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions - CNRS

Le 18 octobre 1640, Pierre de Fermat écrit une lettre à Bernard Frénicle de Bessy. Fermat est magistrat de carrière, Frénicle de Bessy est conseiller général en la Cour des Monnaies. Aucun n'est donc un professionnel des mathématiques, à une époque cependant où cette notion n'a pas le sens qu'elle a aujourd'hui et pendant laquelle les mathématiques sont largement développées par ces non-professionnels passionnés. Les « mathématiciens professionnels » sont alors surtout des « ingénieurs », bâtisseurs de fortifications, de ponts, de navires ou des enseignants. Dans sa lettre, Fermat se plaint d'ailleurs du manque de temps à consacrer aux mathématiques. Cette lettre est restée dans l'histoire pour un énoncé de Fermat (maintenant appelé « petit théorème de Fermat »), qui sera le seul énoncé mathématique de tout ce rapport : « tout nombre premier mesure infailliblement une des puissances -1 de quelques progressions que ce soit, et l'exposant de la dite puissance est sous-multiple du nombre premier donné -1 ».

L'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions est l'institut du CNRS en charge du pilotage de la recherche en mathématique. Il est aussi investi des missions nationales d'animation et de coordination dans le domaine des mathématiques.

Fermat donne-t-il cet énoncé parce qu'il est utile ? Utile à qui d'ailleurs ? Non, les recherches de Fermat sur les nombres n'ont pas un objectif d'application directe extérieure aux mathématiques. Dans une autre lettre, Frénicle de Bessy se plaint d'ailleurs qu'un enseignant lui reproche d'étudier les nombres, travaux inutiles aux « calculs des géodètes, des arpenteurs, des marchands, ou des praticiens des deux architectures, et autres pareils ».[1]

Aujourd'hui cependant, ce « théorème inutile » du XVIIè siècle est la base de la sécurité de tous les échanges numériques.

Au début du XXè siècle, Perron et Frobenius démontrent un résultat portant sur les valeurs et vecteurs propres des matrices à coefficients positifs. Si ce résultat n'a priori aucune application, il est lui très rapidement utilisé par Landau pour... classer des équipes dans des tournois sportifs. Ce théorème est aujourd'hui utilisé en économie, en démographie, pour l'étude des réseaux sociaux. Il est même un ingrédient principal de l'ensemble d'algorithmes qui permet à votre moteur de recherche préféré de répondre à vos requêtes quotidiennes !

Les deux exemples précédents montrent que l'efficacité de la recherche mathématique ne requiert pas que celle-ci doive être guidée uniquement par des

[1] Je remercie Catherine Goldstein, directrice de recherche au CNRS pour les informations transmises sur le contexte des travaux de Pierre de Fermat.

applications immédiates à l'économie. Les mathématiques sont une science fondamentale dont le mode d'action est de scinder les problèmes en sous-problèmes qui sont ensuite placés dans un cadre abstrait. Loin de couper les problèmes de leur origine, l'abstraction permet d'apporter des réponses dans des contextes plus larges que celui du départ et donc de répondre avec des mêmes outils à plusieurs problématiques a priori disjointes. Les mathématiques sont une discipline de temps long.

Au XXIè siècle, les mathématiques sont une discipline en constante évolution et en plein développement, à la fois comme développant sa propre dynamique et comme étant universellement utilisée. Il apparaît dès lors nécessaire de consacrer un temps à la réflexion sur cette évolution et ses conséquences. C'est l'objectif des Assises des mathématiques organisées en 2022 par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du CNRS.

À l'occasion de ces Assises, il nous a paru nécessaire de mettre à jour le rapport d'impact économique des mathématiques publié en 2015 à la demande de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société. Cette mise à jour repose bien sûr sur la méthodologie adoptée en 2015. Elle montre une influence croissante des mathématiques dans l'économie.

La portée des mathématiques est une invitation au renforcement des échanges entre la recherche mathématique publique et les entreprises, elle est aussi une invitation faites aux entreprises d'accueillir en leur sein les problem solvers que sont les jeunes diplômés et diplômées en mathématiques.

La France est une nation majeure de la recherche mathématique. Elle dispose donc d'un atout fort de compétitivité et d'innovation dans un monde fortement numérique qu'il convient de ne pas perdre.

□ □ □

Introduction

La présente étude sur l'impact économique des mathématiques en France s'inscrit dans la continuité de l'analyse conduite en mai 2015, à la demande de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (AMIES), en partenariat avec la Fondation Sciences Mathématiques de Paris (FSMP) et la Fondation Mathématique Jacques-Hadamard (FMJH). En vue des Assises des Mathématiques, l'Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions (INSMI) se propose d'actualiser cette étude sous l'angle économique.

Conduit de janvier à mai 2022, ce travail ambitionne de fournir une analyse comparative actualisée en évaluant notamment :

- La place des mathématiques dans l'économie française ;
- Le rôle de la recherche française en mathématiques dans le dynamisme et la croissance des entreprises ;
- L'évolution des besoins et des offres de compétences mathématiques depuis 2015.

Afin de répondre à ces enjeux, l'étude est structurée en trois parties :

(1) Les mesures de l'impact économique des mathématiques ;

(2) La contribution des mathématiques à l'économie et l'adéquation aux besoins des entreprises ;

(3) L'évolution de la recherche et de la formation françaises en mathématiques.

Résumé

(1) L'impact des mathématiques dans l'économie s'avère croissant. En évaluant la part d'activité faisant appel aux mathématiques par type d'emplois, nous estimons que la proportion des emplois salariés dont l'activité principale est en lien avec les mathématiques représente désormais 13 % des emplois et 18 % du Produit Intérieur Brut (PIB) français, contre respectivement, 12 % et 16 % en 2012. Plus encore : on observe aujourd'hui une plus grande transversalité de l'apport des mathématiques, avec la nécessité d'appréhender des systèmes complexes, de traiter et interpréter des données, réaliser des estimations et des prévisions, ou de mettre en œuvre un raisonnement mathématique dans la prise de décision. Des études prospectives[2] confirment le besoin croissant en compétences technologiques avec un bagage en mathématiques de niveau intermédiaire solide, résultante d'une numérisation accrue des emplois.

(2) Les entretiens menés au cours de l'étude suggèrent plusieurs pistes de réflexion à approfondir en vue des Assises des Mathématiques, notamment le développement des connaissances et des compétences mathématiques pertinentes pour les entreprises, la valorisation du transfert de savoirs, et l'amélioration des débouchés professionnels des mathématiciens.

(3) L'histoire des mathématiques montre la contribution de premier rang de la France dans la construction et le rayonnement de cette discipline. Depuis le XVIIe siècle et plus récemment, les mathématiciens français participent activement au développement de

[2] France Stratégie, Quels Métiers en 2030 ?, 2022 ; Centre Européen pour le Développement de la Formation Professionnelle, Skills Forecast, 2020

connaissances nouvelles. Sur la scène internationale, la présence française s'est vue contrebalancée d'abord par les Etats-Unis, puis par la montée en puissance de la Chine, comme le révèle la part de ces pays dans les publications internationales (Chine : 19 %, Etats-Unis : 16 %, France : 5 % en 2015, dernier décompte publié)[3].

Si la France peut s'appuyer sur son héritage scientifique dans la formation d'une élite en mathématiques, elle peine néanmoins à bâtir une nouvelle génération sensible à l'importance de la discipline. Les évolutions sont contrastées dans les enseignements secondaire et supérieur : si, depuis les années 2010, le vivier d'étudiants du supérieur en mathématiques s'accroit, le niveau moyen dans les enseignements primaire et secondaire et le nombre d'élèves suivant des cours de mathématiques dans le secondaire diminuent.

Note méthodologique

Cette étude repose sur un travail d'analyse documentaire approfondi, la conduite d'entretiens auprès de chercheurs, d'industriels et d'experts, ainsi qu'un travail d'analyse de données statistiques produites par l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) ou d'autres sources publiques. Ces recherches nous ont notamment permis d'établir une estimation quantitative de l'impact économique des mathématiques. Pour y parvenir, nous avons identifié les professions directement impactées par les mathématiques (formation en ou par les mathématiques, production et application d'outils ou de recherches en mathématiques), nous avons évalué leur poids dans les différents secteurs économiques, puis un modèle Entrées-Sorties a été appliqué pour calculer l'emploi et la valeur ajoutée attribuables à la mobilisation des mathématiques.

[3] Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES), « *La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015* », 2018

English summary

This study on the economic impact of mathematics in France is a continuation of the analysis conducted in May 2015, at the request of the Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société (AMIES), in partnership with the Fondation Sciences Mathématiques de Paris (FSMP) and the Fondation Mathématique Jacques-Hadamard (FMJH). In preparation for the Assises des Mathématiques event, the Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions (INSMI) aims to update this study from an economic perspective.

Conducted from January to May 2022, this work aims to provide an updated comparative analysis by evaluating in particular

- The place of mathematics in the French economy;
- The role of French research in mathematics in the dynamism and growth of companies;
- The evolution of mathematical skills needs and offers since 2015.

To address these issues, the study is structured in three parts:

(1) Measures of the economic impact of mathematics;

(2) The contribution of mathematics to the economy and the relevance to business needs;

(3) The evolution of French research and training in mathematics.

Abstract

(1) The impact of mathematics in the economy is growing. By evaluating the share of activity involving mathematics by type of job, we estimate that the proportion of salaried jobs whose main activity is related to mathematics now represents 13% of jobs and 18% of French Gross Domestic Product (GDP), compared to 12% and 16% respectively in 2012. Moreover, the contribution of mathematics is now more transversal, with the need to understand complex systems, to process and interpret data, to make estimates and forecasts, or to use mathematical reasoning in decision making. Prospective studies[4] confirm the growing need for technological skills with a strong intermediate level mathematical background, as a result of the increased digitalization of jobs.

(2) The interviews conducted during the study suggest several avenues of reflection to be explored in preparation for the Assises des Mathématiques, in particular the development of mathematical knowledge and skills relevant to companies, the promotion of knowledge transfer, and the improvement of professional opportunities for mathematicians.

(3) The history of mathematics shows that France has made a major contribution to the development and influence of this discipline. Since the 17th century and recently, French mathematicians have actively participated in the development of new knowledge. On the international scene, France's presence has been counterbalanced first by the United States and then by the rise of China, as revealed by the share of these countries in international publications (China: 19%, United States: 16%, France: 5% in 2015, latest published count) [5].

[4] France Stratégie, Quels Métiers en 2030 ?, 2022 ; Centre Européen pour le Développement de la Formation Professionnelle, Skills Forecast, 2020

[5] Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES), « *La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015* », 2018

While France can rely on its scientific heritage to train an elite in mathematics, it is nevertheless struggling to build a new generation that is sensitive to the importance of the discipline. Trends are mixed in secondary and higher education: while the pool of students in higher education studying mathematics has been growing since the 2010s, the average level in primary and secondary education and the number of students taking mathematics courses in secondary education have been declining.

Partie 1

Les mesures de l'impact économique des mathématiques

1. Les mathématiques, une part significative dans l'emploi en France

1.1 Un impact direct sur 13 % des emplois salariés

Les mathématiques ont un impact direct sur 13 % des emplois salariés en France, soit 3,3 millions d'emplois en 2019, en progression de 1,1 point depuis 2012.

La quantification de l'impact direct des mathématiques sur l'économie en nombre d'emplois est faite à travers la pondération des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) par le poids des mathématiques dans leur activité et leur formation et le type de mathématiques utilisé.

Contrairement à l'approche « par postes » retenue dans l'étude de 2015, nous avons retenu une approche « par salariés » pour deux raisons principales (cf. annexe 1) :

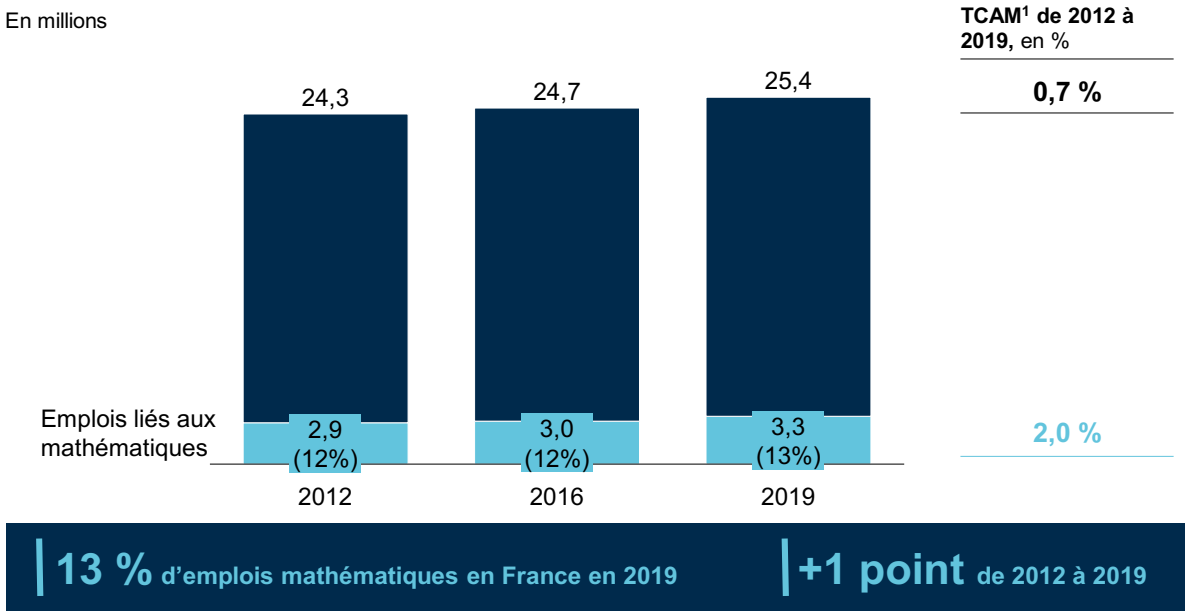
- *Autoriser les comparaisons internationales : l'approche par salarié est celle privilégiée par les études réalisées au Royaume-Uni (2012), aux Pays-Bas (2014) et en Espagne (2019) (cf. infra) ;*
- *Mieux rendre compte de la réalité économique et salariale de la France : l'approche par salarié est plus proche des données de la population active française (~29 millions de personnes en 2019).*

Nous estimons le nombre d'emplois salariés impactés par les mathématiques en France à 3,3 millions, soit 13 % du nombre total d'emplois salariés dans l'ensemble des secteurs d'activité (25,4 millions[6]) en 2019 (*cf. graphique* 1). Ce nombre augmente plus rapidement que l'emploi salarié total depuis 2012. Le taux de croissance annuel moyen (TCAM) des emplois salariés impactés par les mathématiques est ainsi de 2,0 % de 2012 à 2019 (et même, de 3,7 % de 2016 à 2019), alors que l'emploi salarié français augmente de 0,7 % en moyenne sur la période (ou 1,0 % de 2016 à 2019).

Ainsi, si l'impact des mathématiques dans l'emploi salarié reste relativement stable de 2012 à 2016 (11,9 % à 12,0 % soit +0,1 point), il croît de 1 point entre 2016 et 2019, témoignant d'une accélération sensible en trois ans, de 3,0 à 3,3 millions (13,0 % en 2019).

[6] INSEE, Emploi salarié et non salarié par activité, Données annuelles de 1989 à 2020

Graphique 1 : Evolution de la contribution des mathématiques dans les emplois salariés de 2012 à 2019



1. Taux de croissance annuel moyen

Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité"), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

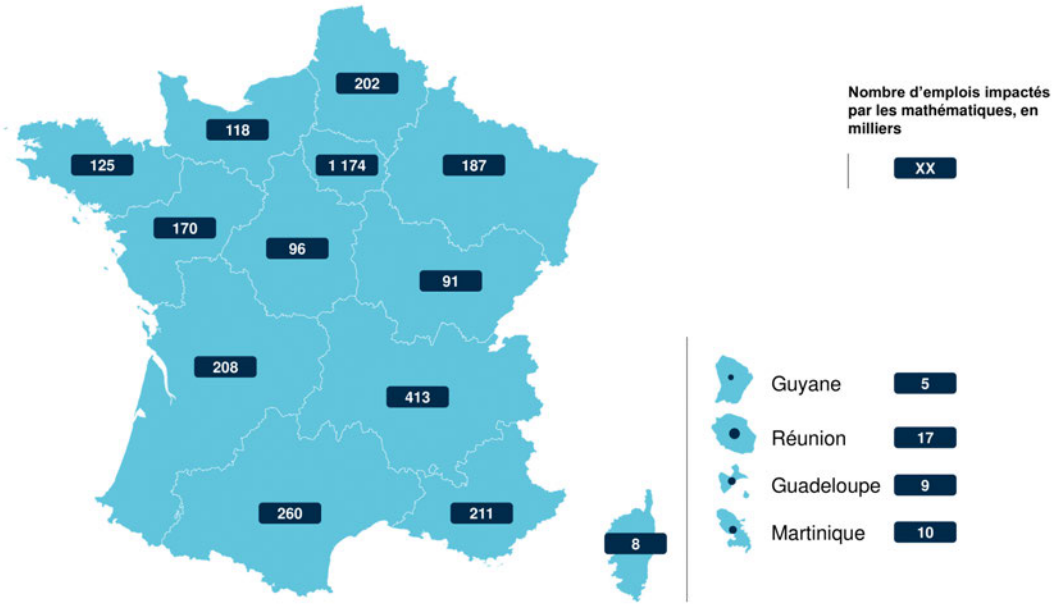
1.2 Une concentration des emplois en Île-de-France

En France, en 2019, près de la moitié des emplois salariés impactés par les mathématiques sont concentrés en Ile-de-France (35 %) et en Auvergne-Rhône-Alpes (12 %). Les régions dont l'emploi impacté par les mathématiques est en plus forte croissance sont les Pays de la Loire, l'Occitanie, la Nouvelle-Aquitaine et l'Île-de-France.

En 2019, 80 % des emplois salariés impactés par les mathématiques sont localisés dans sept régions : Île-de-France (35 % soit 1,2 million d'emplois impactés par les mathématiques), Auvergne-Rhône-Alpes (12 % soit 0,4 million), Occitanie (8 % soit 0,3 million), Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Nouvelle Aquitaine, Hauts-de-France et Grand-Est (6 % soit 0,2 million d'emplois chacune).

Le poids moyen des mathématiques dans l'emploi régional est supérieur à la moyenne dans les régions Île-de-France (20 %), Auvergne-Rhône-Alpes (14 %) et Occitanie (13 %).

Graphique 2 : Emplois impactés par les mathématiques en 2019 par région



Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité"), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

Entre 2012 et 2019, les régions Occitanie et Pays de la Loire sont celles qui voient leur nombre d'emplois affectés par les mathématiques croitre le plus rapidement avec des croissances annuelles respectives de 3,1 % (4,9 % en 2016-2019) et 2,9 % (5,1 % en 2016-2019). La Bretagne et la Nouvelle-Aquitaine suivent également une croissance annuelle plus rapide que la moyenne des régions avec des taux de 2,4 % et 2,2 % vs. 2,0 % en moyenne (2,0 % en Île-de-France).

1.3 Les professions les plus impactées par les mathématiques

Les professions les plus impactées par les mathématiques sont les ingénieurs, les techniciens – qui représentent près de 70 % des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019 et 95 % de la croissance des emplois impactés de 2012 à 2019 –, ainsi que les cadres des services financiers et le personnel de direction de la fonction publique (ex. chargés de recherche de la recherche publique, professeurs). Aussi, les emplois directement impliqués dans la production et l'application de la recherche en sciences mathématiques et des outils mathématiques représentent 32 % (1,1 million) des emplois impactés par les mathématiques.

En 2019, parmi les emplois salariés impactés par les mathématiques, une catégorisation des professions les plus impactées peut être dressée :

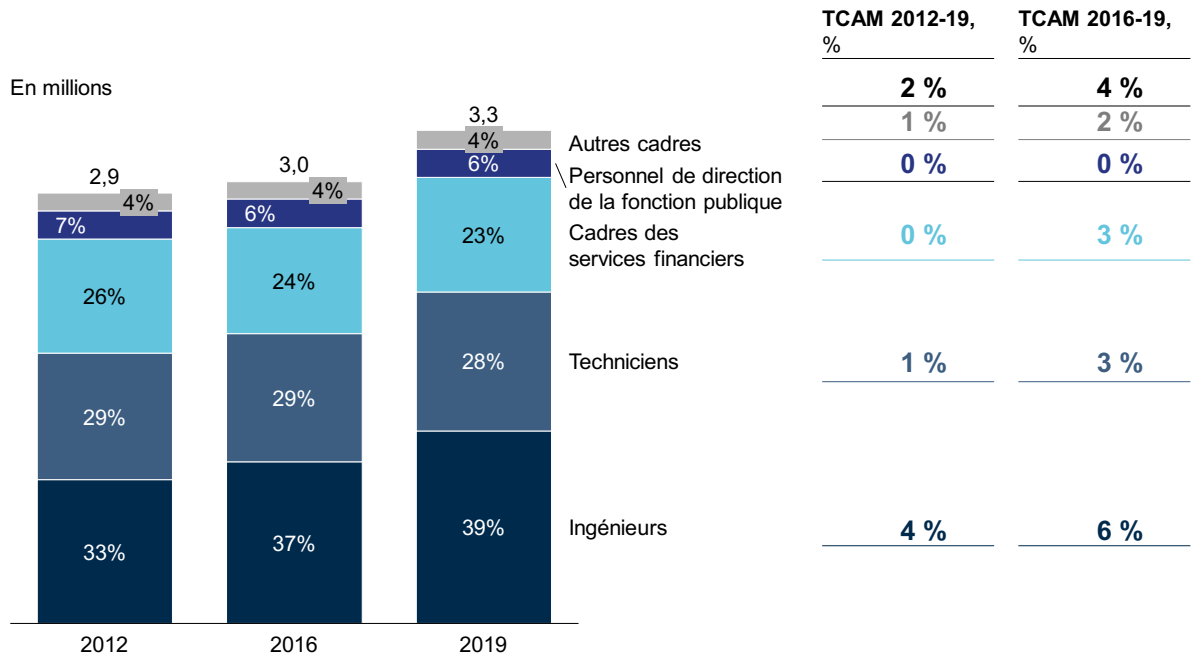
- Des ingénieurs : informatique (ex., logiciel) principalement, de travaux, agroalimentaires, technico-commerciaux (ex., machines) ;
- Des techniciens (avec une qualification en mathématiques) pour les activités de travail temporaire ou liées à l'emploi ;

- Des cadres des services financiers ;
- Du personnel de direction de la fonction publique (ex. directeurs et chargés de recherche de la recherche publique, Etat, hôpitaux, professeurs du secondaire et du supérieur).

Les ingénieurs et techniciens représentent à eux seuls ~70 % des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019 et +95 % de la croissance entre 2012 et 2019.

- Les ingénieurs sont de loin la catégorie la plus significative avec 40 % des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019, et la plus dynamique en termes de croissance avec +4 % par an entre 2012 et 2019 (+6 % par an entre 2016 et 2019).
- Les techniciens, quant à eux, représentent 28 % des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019, et suivent une croissance de +1 % par an entre 2012 et 2019 (+3 % par an entre 2016 et 2019).
- Les cadres des services financiers représentent 23 % des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019, et un volume stable entre 2012 et 2019 (+3 % par an entre 2016 et 2019).
- Les personnels de direction de la fonction publique et autres cadres représentent respectivement 6 % et 4 % des emplois salariés et suivent une croissance de +0 et +1 % par an entre 2012 et 2019 (+0 % et +2 % par an entre 2016 et 2019).

Graphique 3 : Evolution de la répartition des emplois salariés impactés par les mathématiques par type de PCS



Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité"), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

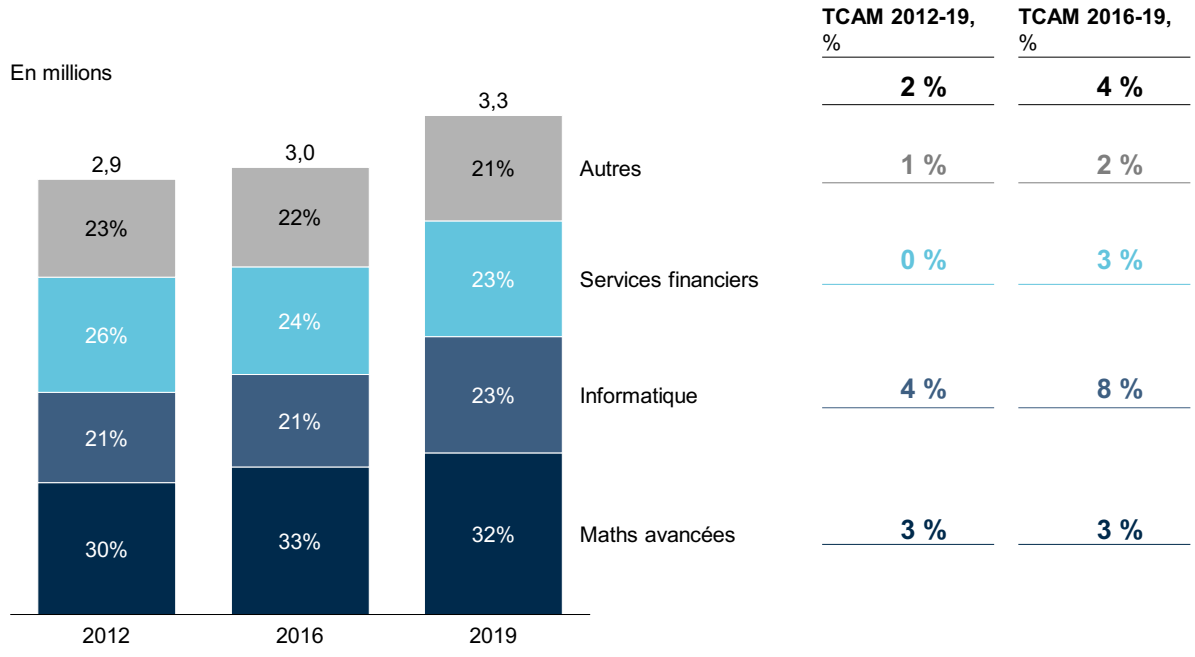
Une sous-catégorisation selon le niveau de mathématiques de chaque PCS peut être dressée :

Les catégorisations « mathématiques avancées », « informatique » et « services financiers » ont été déterminées sur la base des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) dans l'étude de l'impact socioéconomique des mathématiques publiée en 2015. 41 PCS sont considérées comme « mathématiques avancées » (ex., 342g-Ingénieurs d'étude et de recherche de la recherche publique), 9 sont considérées comme « informatique » (ex., 388c-Chefs de projets informatiques, responsables informatiques), et 11 comme « services financiers » (ex., 376a-Cadres des marchés financiers).

En particulier, les emplois salariés directement impliqués dans la production et l'application de la recherche en sciences mathématiques et des outils mathématiques dits « mathématiques avancées », représentent la première catégorie d'emplois impactés par les mathématiques avec 1,1 million de salariés en 2019, soit 32 %, contre 0,9 million en 2012 (30 % des emplois impactés par les mathématiques).

L'informatique et les services financiers représentent 23 % du total d'emplois salariés impactés par les mathématiques. En revanche, ils représentent 60 % de la croissance des emplois entre 2016 et 2019 avec une croissance respective de 4 % et 0 % par an entre 2012 et 2019 (8 % et 3 % entre 2016 et 2019) versus 3 % (resp., 3 %) pour les « emplois impactés par les mathématiques avancées ».

Graphique 4 : Evolution de la répartition des emplois salariés impactés par les mathématiques par catégorie



Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité"), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

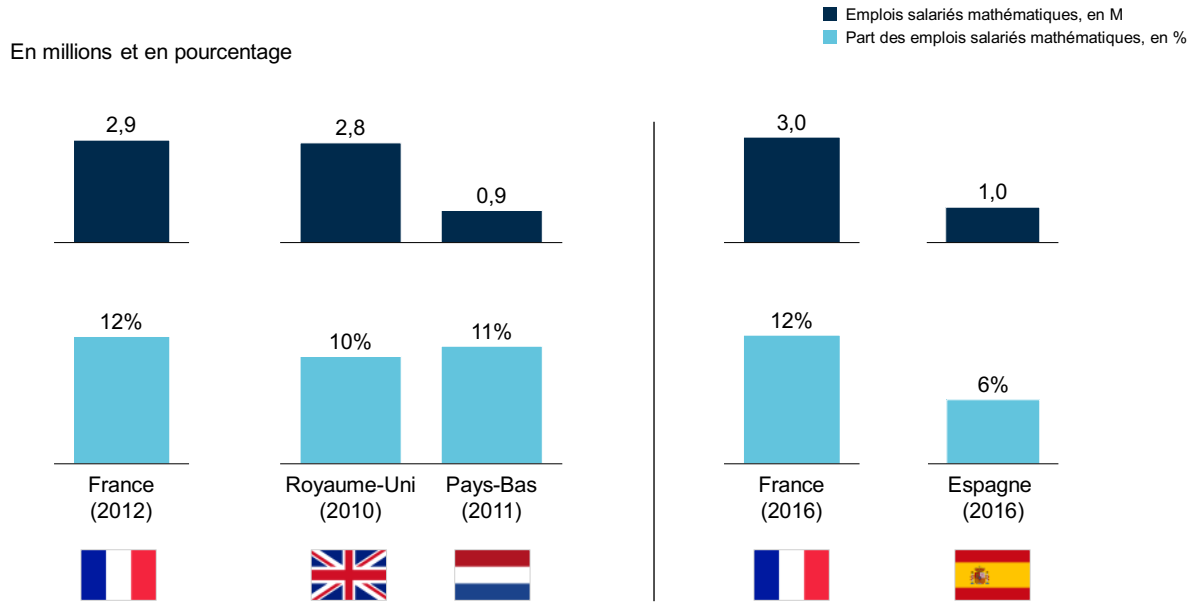
1.4 Un impact sur l'emploi comparable, voire supérieur, à d'autres pays européens

Les études menées sur l'impact des mathématiques au Royaume-Uni[7] et aux Pays-Bas[8] montrent que la part des mathématiques dans l'emploi salarié en France (12 % en 2012) est comparable, bien que légèrement supérieure, à celle au Royaume-Uni (10 % en 2010) et aux Pays-Bas (11 % en 2011).

L'étude menée en Espagne[9] montre que la part des mathématiques dans l'emplois salarié en 2016 en France (12 %) est deux fois supérieure à celle en Espagne (6 %). Les auteurs de l'étude remarquent que l'économie espagnole emploie encore un nombre relativement faible de salariés à des postes de spécialistes des bases de données, des services financiers et de la conception de logiciels, lesquels sont fortement impactés par les mathématiques.

Toutefois, des études plus récentes sur le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Espagne manquent pour comparer les évolutions.

Graphique 5 : Contribution des mathématiques dans les emplois salariés par pays



Source : Deloitte, Red Estretégica en Matemáticas

[7] Deloitte, *Measuring the economic benefit of mathematical science research in the UK*, 2012
[8] Deloitte, *Mathematical sciences and their value for the Dutch economy*, 2014
[9] Red Estretégica en Matemáticas, *Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España*, 2019

2. Une contribution significative au PIB de la France

2.1 Une contribution au PIB de l'ordre de 18 % en 2019

Les mathématiques contribuent à la création de valeur ajoutée en France à hauteur de 17,6 % du PIB en 2019, en progression de 1,8 point depuis 2012.

La valeur ajoutée liée aux mathématiques en France représente de l'ordre de 381 milliards d'euros[10] sur 2 169 milliards d'euros de valeur ajoutée créée en 2019[11], ce qui représente 17,6 % de la valeur ajoutée totale. Par extrapolation (en ne tenant pas compte de la TVA, des droits de douane, des impôts et des subventions), les mathématiques représenteraient 17,6 % du Produit Intérieur Brut (PIB) en France en 2019.

La création de valeur[12] liée aux mathématiques augmente plus rapidement que la valeur ajoutée en France de 2012 à 2019 (*cf. graphique* 6). Elle connaît un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 3,7 % sur la période 2012 à 2019, alors que la valeur ajoutée de l'économie française augmente de 2,1 % (TCAM) sur la même période. Sur la période 2016-2019, les mathématiques contribuent encore davantage à la valeur ajoutée avec un TCAM de 4,5 % (vs. 2,8 % pour la valeur ajoutée totale).

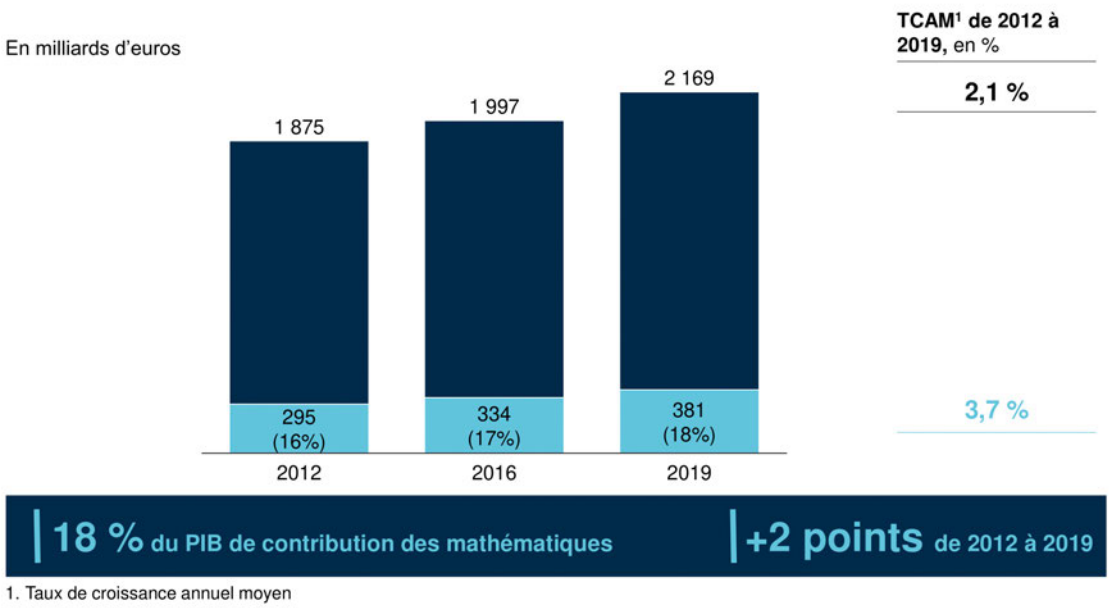
Ainsi, on estime que la part des mathématiques dans le PIB français augmente de 1,8 point en 7 ans, passant de 15,8 % du PIB en 2012 à 16,7 % en 2016 et 17,6 % en 2019.

[10] INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité", Comptes de la Nation), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

[11] INSEE, Les comptes de la Nation en 2020 – https://www.insee.fr/fr/statistiques/5354742?sommaire=5354786

[12] Selon l'INSEE, la création de valeur mesure le *« solde du compte de production. Elle est égale à la valeur de la production diminuée de la consommation intermédiaire.* ». En d'autres termes, elle quantifie la création de richesse. Elle sert de base au calcul du PIB en faisant la somme des valeurs ajoutées de toutes les activités de production de biens et de services et en y ajoutant les impôts moins les subventions sur les produits ; calcul du PIB selon l'approche dite de la production

Graphique 6 : Evolution de la contribution des mathématiques à la valeur ajoutée entre 2012 à 2019



Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité", Comptes de la Nation), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

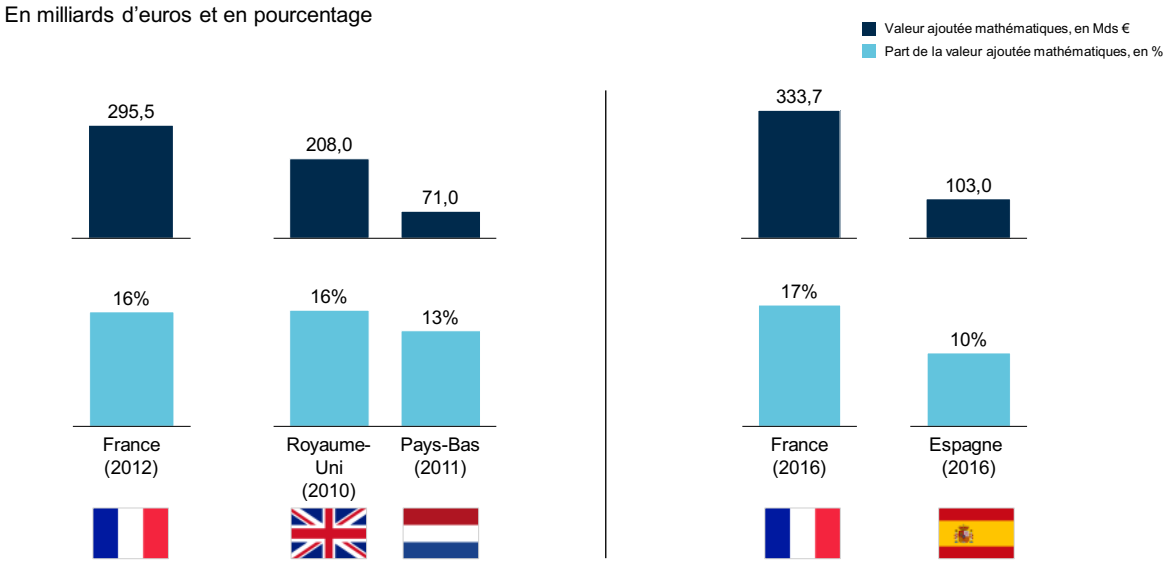
2.2 Une contribution comparable, voire supérieure, à d'autres pays européens

La part des mathématiques dans la valeur ajoutée en France (16 % en 2012 et 2016, 17 % en 2016 et 18 % en 2019) est similaire à celle du Royaume-Uni[13] (16 % en 2010) et supérieure à celle observée en Espagne[14] (10 % en 2016) et aux Pays-Bas (13 % en 2011)[15].

Toutefois, des études plus récentes sur le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Espagne manquent pour comparer les évolutions.

[13] Deloitte, *Measuring the economic benefit of mathematical science research in the UK*, 2012
[14] Red Estretégica en Matemáticas, *Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España*, 2019
[15] Deloitte, *Mathematical sciences and their value for the Dutch economy*, 2014

Graphique 7 : Contribution des mathématiques dans la valeur ajoutée par pays



Note : *la différence de contribution entre valeur ajoutée et emploi s'explique par la variation du mix de secteurs en valeur ajoutée*

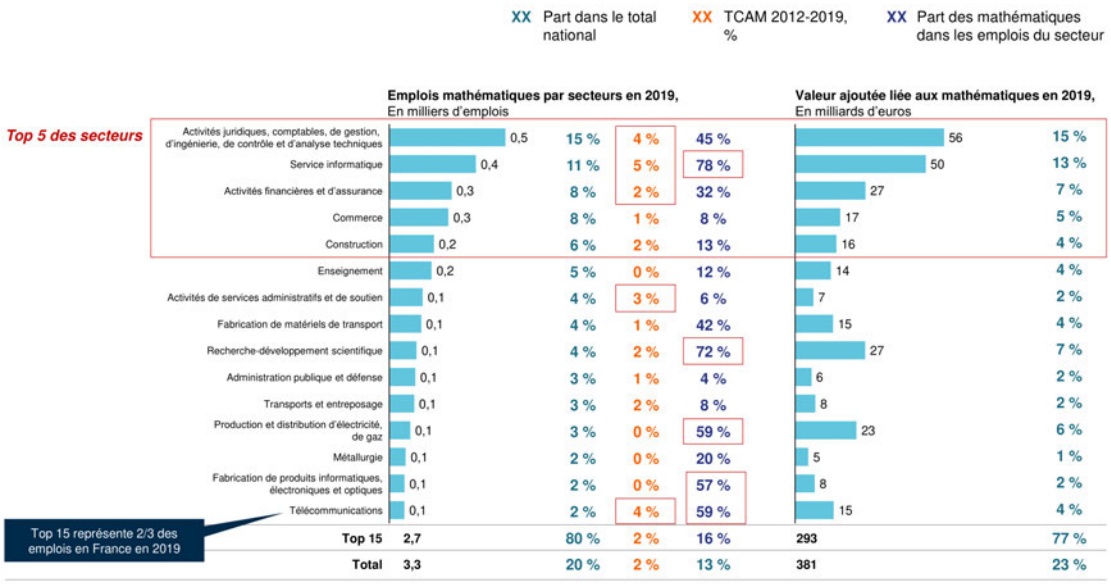
Source : Deloitte, Red Estretégica en Matemáticas

3. La composition des secteurs les plus contributifs en emplois impactés par les mathématiques

3.1 Les 15 secteurs les plus contributifs, 80 % des emplois impactés par les mathématiques

En 2019, les 15 secteurs les plus contributifs en matière d'emplois impactés par les mathématiques représentent 2/3 des emplois en France (soit 16,7 millions), 80 % des emplois impactés par les mathématiques (soit 2,7 millions) et 77 % de la valeur ajoutée liée aux mathématiques.

Graphique 8 : Top 15 des secteurs les plus contributifs en emplois salariés impactés par les mathématiques



Source : INSEE (DSN, "Emploi salarié et non salarié par activité", Comptes de la Nation), Pondération des professions et catégories socio-professionnelles, Modèle d'impact (2022)

En particulier, comme l'illustre le graphique 8, 5 secteurs représentent à eux seuls ~50 % des emplois impactés par les mathématiques :

- Activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques (15 %)
- Service informatique (11 %)
- Activités financières et d'assurance (8 %)
- Commerce (8 %)
- Construction (6 %)

3.2 La croissance plus dynamique des secteurs les plus riches en emplois impactés par les mathématiques

En termes de croissance, les 15 secteurs suivent un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 2,3 % entre 2012 et 2019 (vs. 2,0 % au total pour l'ensemble des secteurs), et 3,9 % entre 2016 et 2019. Sur la période 2012-2019, 4 secteurs comptent pour 2/3 de la croissance :

- Activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques (30 % de la croissance des emplois et 4 % de TCAM) ;
- Service informatique (23 % de la croissance et 5 % de TCAM) ;
- Activités financières et d'assurance (6 % de la croissance et 2 % de TCAM) ;
- Activités de services administratifs et de soutien (6 % de la croissance et 3 % de TCAM).

Les télécommunications bénéficient aussi d'une croissance dynamique (4 % de TCAM entre 2012 et 2019 et 7 % entre 2016 et 2019) mais elles restent un secteur encore faiblement contributif avec 2 % des emplois impactés par les mathématiques en 2019.

3.3 La contribution importante des secteurs de l'industrie et de la technologie

En proportion, les secteurs les plus riches en emplois impactés par les mathématiques restent, en 2019, **les services informatiques** (78% des emplois sont impactés par les mathématiques), **la recherche-développement scientifique** (72%), **la production et distribution d'électricité et de gaz** (59 %) et **les télécommunications** (59%). La part des emplois impactés par les mathématiques a fortement augmenté pour les télécommunications (de 47% en 2016 à 59% en 2019), l'industrie pharmaceutique (41% à 44%) et les activités financières et d'assurance (29% à 32%), contre une moyenne à travers les secteurs de 12% en 2016 et 13% en 2019.

En considérant uniquement **les emplois relatifs à la production et l'application de la recherche en sciences mathématiques et des outils mathématiques** (hors informatique et services financiers – *cf. supra graphique* 4), **le top 5 des secteurs les plus contributifs dans l'emploi en 2019** sont dans l'ordre :

- Enseignement (15 %)
- Activités d'architecture et d'ingénierie ; activités de contrôle et analyses techniques ; activité juridiques et comptables (13 %)
- Recherche-développement scientifique (9 %)
- Travaux de construction spécialisés (9 %)
- Fabrication de matériel de transport (8 %)

***Le secteur enseignement inclut tous les niveaux de l'enseignement** : primaire, secondaire et supérieur. Les principales PCS représentées dans l'échantillon sont :*

- *Les professeurs des écoles et les professeurs agrégés et certifiés de l'enseignement secondaire (341a), représentant 25 % des effectifs du secteur de l'enseignement dans l'échantillon de l'INSEE.*
- *Les professeurs des écoles (421b), représentant 20 % des effectifs de l'enseignement.*

- *Les agents administratifs de l'Etat et assimilés hors La Poste et Orange (ex-France Télécom) (524b), représentant 8 % des effectifs de l'enseignement.*
- *Professeurs et maitres de conférences (342b), représentant 5 % des effectifs de l'enseignement.*

Le secteur recherche-développement scientifique inclut les secteurs privés et publics. *Les principales PCS représentées dans l'échantillon sont :*

- *Ingénieurs d'étude et de recherche de la recherche publique (342g), représentant 18 % des effectifs en recherche et développement (R&D).*
- *Directeurs et chargés de recherche de la recherche publique (342f), représentant 11 % des effectifs de la R&D.*
- *Techniciens des laboratoires de recherche publique ou de l'enseignement (479a), représentant 10 % des effectifs de la R&D.*

Toutefois, l'échantillon ne dispose pas de données relatives aux catégories enseignants de l'enseignement supérieur (342a) et chercheurs de la recherche publique (342e).

4. Regard prospectif sur l'évolution de la demande de compétences mathématiques et technologiques en 2030

Plusieurs études visent à évaluer la structure actuelle du marché du travail et à dessiner les tendances futures. L'étude prospective de France Stratégie sur les Métiers en 2030, ainsi que l'étude du Centre Européen pour le Développement de la Formation Professionnelle (Cedefop) fournissent des projections sur l'offre et la demande de compétences du marché du travail européen et français, et permettent de tirer des enseignements sur l'impact des compétences liées aux mathématiques.

L'étude de France Stratégie, *Quels Métiers en 2030 ?*[16], présente plusieurs analyses dont les principaux enseignements sont :

- Près d'un million d'emplois devraient être créés entre 2019 et 2030 (soit une hausse de 3,6 %). Dans l'hypothèse d'un scénario bas carbone – qui suppose le respect jusqu'en 2030 des cibles de la Stratégie nationale bas carbone et un effort d'investissement – environ 200 000 emplois supplémentaires seraient créés par rapport au scénario de référence.
- Ce million d'emplois net créé entre 2019 et 2030 se compose en fait de 1,8 million d'emplois créé pour des diplômés du supérieur, et une diminution de près de 800 000 pour les catégories n'ayant pas dépassé le baccalauréat. Les diplômés du supérieur occuperaient ainsi 47 % des emplois (contre 43 % en 2019).
- Les emplois les plus qualifiés de services aux entreprises, lesquels nécessitent une formation scientifique dont les mathématiques font partie, seront en forte croissance :
  - Les emplois ingénieurs informatiques croitraient de 115 000 postes (+26 %) de 2019 à 2030, soit 12 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030.
  - Les emplois d'ingénieurs et cadres techniques de l'industrie augmenteraient de 75 000 postes (+24 %), soit 8 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030. L'étude note

[16] France Stratégie, Quels Métiers en 2030 ?, 2022

que ces emplois ne seraient pas tous pourvus par l'arrivée de jeunes ingénieurs débutants (19 000 emplois seraient non pourvus en 2030).

— Les emplois de personnels d'études et de recherche devraient également augmenter à hauteur de 50 000 postes (+13 %), soit 5 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030.

- Le secteur de la R&D devrait contribuer à la création de +85 000 emplois diplômés du supérieur de 2019 à 2030 (soit +21 %), dont 70 000 en raison d'un « effet secteur » (augmentation de l'emploi des diplômés du supérieur qui serait observée si leur part dans le secteur restait inchangée).
- Les créations d'emplois seraient plus fortes dans l'hypothèse d'un scénario bas carbone en raison des besoins en innovations technologiques, notamment dans le secteur de la R&D (15 000 emplois supplémentaires par rapport au scénario de référence) et pour les emplois de personnels d'études et de recherche (10 000 emplois supplémentaires par rapport au scénario de référence).

L'étude du Cedefop, *2020 Skills Forecast*[17] en France partage cette tendance et présente plusieurs analyses dont les principaux enseignements sont :

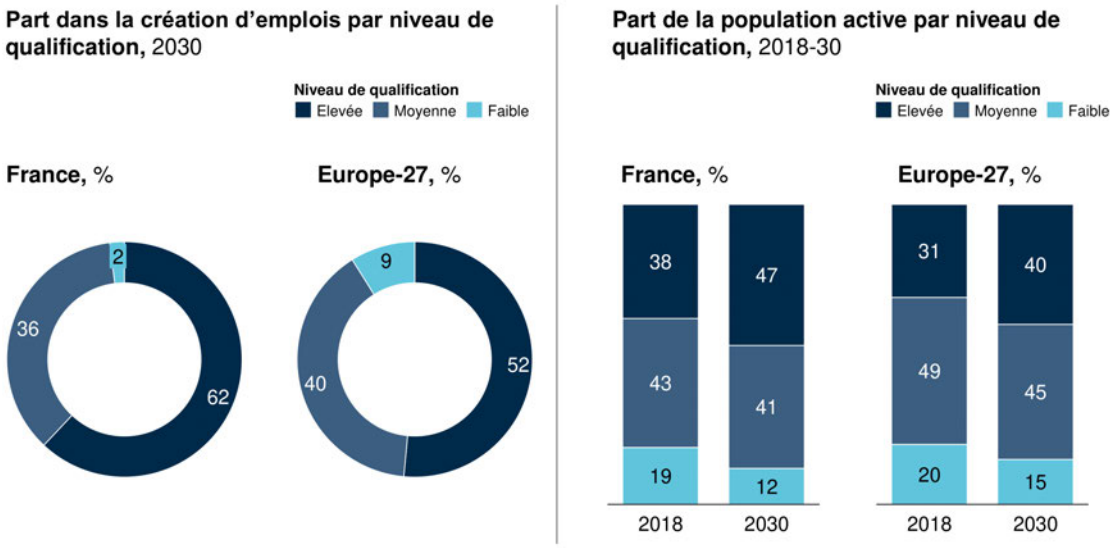
- L'emploi en France devrait croitre à un rythme plus rapide que la moyenne de l'UE27, +1,5 % par an entre 2022 et 2026 et +2 % par an entre 2026 et 2030.
- La part des personnes possédant des qualifications de haut niveau[18] en France devrait augmenter d'ici à 2030 pour atteindre 47 %, devenant ainsi le groupe le plus important.
- Les professions intellectuelles et scientifiques (y compris les professionnels des sciences et de l'ingénierie) sont la seule profession qui devrait connaître un nombre élevé d'ouvertures de postes (3 millions) et de créations d'emplois (500 000).
- Ces changements dans la structure de l'emploi professionnel résultent d'une combinaison de deux facteurs principaux : (a) le changement structurel continu de la composition sectorielle de l'économie ; (b) les changements technologiques qui influencent les schémas de la demande de compétences au sein des secteurs.

Le mouvement vers des qualifications plus élevées en France suggère qu'il pourrait y avoir des difficultés à pourvoir les postes ouverts aux niveaux avancés, avec le risque d'une inadéquation entre la demande de compétences et les qualifications sur le marché du travail. Ce mouvement suggère également une accélération de la demande en compétences liées aux mathématiques comme en témoigne la croissance des « professionnels » - incluant les professionnels des sciences et de l'ingénierie, et représentant eux-mêmes 39% des emplois salariés impactés par les mathématiques en 2019.

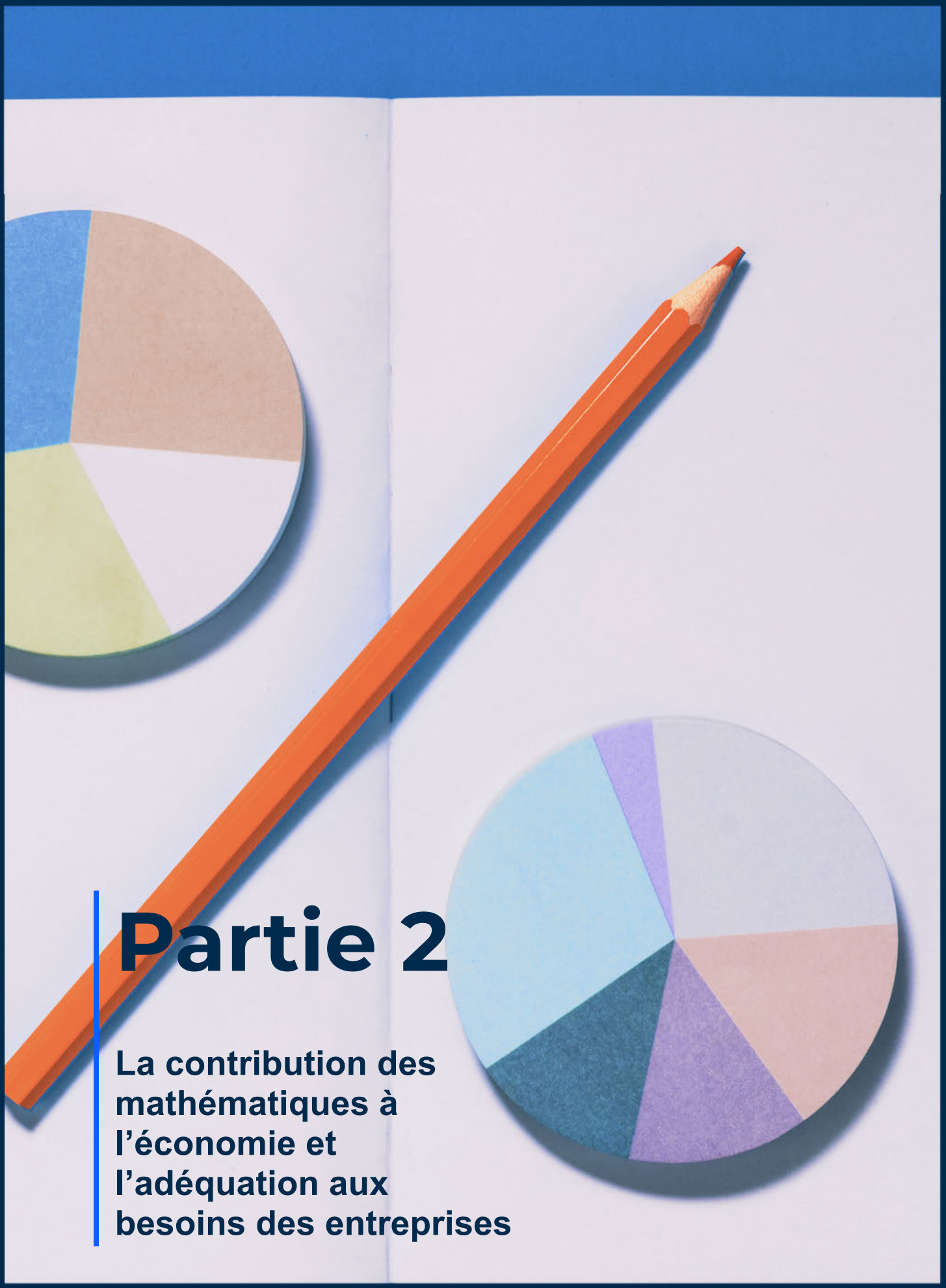
[17] CEDEFOP, Skills Forecast, 2020 – Source méthodologique : https://www.cedefop.europa.eu/en/country-reports/france-2020-skills-forecast

[18] Enseignement supérieur de cycle court (ex. BTS, DUT), licences, masters et doctorats (ou niveaux équivalents)

Graphique 9 : Part dans la création d'emplois et de la population active par niveau de qualification, 2018-30



Source : CEDEFOP, Skills Forecast, 2020



Partie 2

La contribution des mathématiques à l'économie et l'adéquation aux besoins des entreprises

1. Développement de la connaissance mathématique transposable aux enjeux des acteurs économiques

1.1 L'orientation de la recherche en mathématiques vers de nouveaux domaines d'études plus applicatifs et en lien avec d'autres sciences

Depuis les années 2000, la recherche en mathématiques semble s'orienter vers un développement en lien avec les autres sciences et de nouveaux domaines d'études plus applicatifs tels que la modélisation ou l'utilisation poussée de statistiques comme en témoignent l'évolution des effectifs d'enseignants-chercheurs relevant de la section 26 « mathématiques appliquées et applications des mathématiques » du Conseil national des universités (CNU) du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) et le choix des domaines de recherche plus applicatifs des doctorants.

Les domaines qui font appel aux mathématiques appliquées apparaissent de plus en plus nombreux et sont de plus en plus plébiscités, à l'image des simulations numériques, du traitement de l'image, de la cryptographie, des statistiques, de la modélisation, de l'optimisation ou des algorithmes. Les connaissances en mathématiques trouvent une application concrète dans de nombreux domaines économiques tels que la finance où la recherche française est reconnue. A titre d'exemple, les travaux sur la « volatilité rugueuse » du centre de mathématiques appliquées (CMAP) de l'Ecole Polytechnique présentent une avancée concrète des modèles traditionnels utilisés par les opérateurs de marché.

L'importance de la recherche en mathématiques, notamment en lien avec d'autres sciences, devrait être croissante pour le monde économique, en raison de l'apparition de nouveaux besoins relatifs à l'innovation et aux défis environnementaux. A long terme, il est par exemple utile de souligner l'importance que pourraient prendre les mathématiques dans la certification, par des preuves formelles, des algorithmes que les entreprises utilisent dans leurs activités. Aussi, certaines voix, comme celle de Jérémie Wainstain dans son ouvrage *l'Équation alimentaire : comment les maths peuvent sauver l'agriculture* (2022), soulignent la nécessité croissante d'une modélisation mathématique pour anticiper les effets du changement climatique sur l'agriculture et l'industrie agroalimentaire.

Les évolutions des effectifs d'enseignants-chercheurs en mathématiques témoignent d'une baisse importante en mathématiques « fondamentales » et du développement des mathématiques appliquées et en lien avec les autres sciences et la société :

- De fait, entre 2000 et 2020, le nombre d'enseignants-chercheurs en mathématiques et informatique (Groupe 05)[19] augmente de 8% avec 5903 enseignants-chercheurs en 2000 et 6401 en 2020. En revanche, en section 25 « mathématiques », la baisse est de 20% avec 1567 enseignants-chercheurs en 2000 puis 1260 en 2020. En section 26 « Mathématiques appliquées », l'augmentation est de 3% sur la période (de 1727 à 1781), alors que le nombre d'enseignants-chercheurs toutes disciplines confondues augmente de 7% (de 44 895 à 47 988).

[19] Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI), Fiches démographiques des sections du Conseil national des universités (CNU) – Année 2020

- Au cours de ses enquêtes sur les docteurs ayant soutenu leur thèse en 2015 et 2017, l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (AMIES)[20] a fait le constat que les mathématiques appliquées représentent une part prépondérante des domaines de recherche des doctorants. Près de 35 % des docteurs en mathématiques diplômés en 2015 ont obtenu leur thèse dans les domaines de l'analyse numérique et du calcul scientifique (8 %), des statistiques (15 %) et des probabilités et modèles stochastiques (12 %). De même, près de 33 % des docteurs en mathématiques diplômés en 2017 obtiennent leur thèse dans les domaines de l'analyse numérique et du calcul scientifique (13 %), des statistiques (10 %) et probabilités et modèles stochastiques (10 %).

1.2 La connaissance et la recherche transversales et multidisciplinaires davantage plébiscitées

Il ressort des entretiens que les équipes multidisciplinaires de recherche dans les écoles d'ingénieurs sont un modèle de plus en plus plébiscité par le monde économique. Plus les chercheurs prennent l'habitude d'interagir entre spécialistes de disciplines différentes, plus ils apparaissent capables de communiquer efficacement avec le monde de l'entreprise et de transmettre les informations correspondant aux besoins de l'entreprise. Cette thèse est notamment développée par M. Nayaradou et V. Simart dans leur ouvrage *La collaboration université/entreprise : le cas du management de la recherche aux États-Unis* (2006).

> *« En développant la collaboration entre chercheurs de disciplines différentes, on les incite à trouver un langage commun, un terrain d'entente, des éléments de consensus pour que les recherches de l'un soient comprises par l'autre. Chacun est invité à communiquer pour se faire comprendre de l'autre pour que les projets communs puissent aboutir. Cette façon de décloisonner les disciplines et de faire parler et collaborer entre eux des chercheurs qui la plupart du temps s'ignorent est le meilleur moyen de sortir de l'isolement stérile des équipes entières de recherche en les confrontant à l'autre que constituent les chercheurs des autres disciplines avec lesquelles ils doivent travailler pour rendre la recherche innovante. »*
>
> *La collaboration université/entreprise : le cas du management de la recherche aux États-Unis, Maximilien Nayaradou et Vincent Simart, 2006, (Vie & sciences de l'entreprise)*

[20] AMIES, Enquête sur la poursuite de carrière des docteur-e-s récemment diplômé-e-s en mathématiques en 2017, 2018

Les mathématiques au service de de la société, l'exemple d'Yves Meyer

Yves Meyer, le lauréat du prix Abel en 2017, est un exemple emblématique d'un mathématicien qui a utilisé ses connaissances théoriques pour développer des applications vers les entreprises et les autres sciences. Parmi ses réalisations, il est l'un des fondateurs de la théorie mathématique des ondelettes dans les années 1980.

La théorie des ondelettes naît des travaux pionniers du physicien Alex Grossmann et de Jean Morlet, ingénieur chez Elf Aquitaine, qui développent alors les premiers exemples d'ondelettes pour résoudre des problèmes de traitement des signaux pour la prospection pétrolière. Mis au courant de manière fortuite de leurs travaux, Yves Meyer a utilisé sa maitrise de l'analyse harmonique pour développer la théorie mathématique des ondelettes sur des bases rigoureuses.

Ses travaux trouvent de très nombreuses applications dans des domaines variés, entre autres, en compression de données, en estimation statistiques, en imagerie médicale ou la réduction des bruits. En particulier, la norme de compression d'images JPEG 2000 est fondée sur les

2. Des compétences mathématiques pertinentes et lisibles pour répondre aux besoins des secteurs économiques

2.1 Une inadéquation entre l'offre et la demande de compétences mathématiques

Le marché du travail des compétences mathématiques apparaît aujourd'hui déséquilibré en raison d'une pénurie des profils ayant des compétences avancées en mathématiques recherchées comme l'analyse de données. Aussi, certaines entreprises constatent-elles en leur sein une baisse des compétences de base en mathématiques qu'elles peuvent pallier par des formations continues.

2.1.1 Les compétences mathématiques intermédiaires et avancées sont recherchées par les entreprises

Au-delà de la connaissance, les profils formés par les mathématiques sont de plus en plus recherchés. Selon les entretiens menés avec des représentants des différents secteurs économiques, les acteurs économiques recherchent notamment trois types de compétences intermédiaires et avancées :

- Les compétences avancées en mathématiques des mathématiciens ingénieurs, souvent destinés à des postes de R&D ;
- Les compétences avancées en utilisation multidisciplinaires des mathématiques, promises à des postes en R&D ou de *data scientists ;*
- Les compétences intermédiaires en mathématiques pour des postes de techniciens ou de *data engineers.*

En plus de ces profils, les acteurs économiques recherchent aussi des compétences permettant d'interpréter des flux d'informations quotidiens (données, indicateurs), et de prendre des décisions basées sur les faits. Certes la maitrise technique est essentielle mais elle peut s'apprendre sur le terrain, essentiellement pour les profils à compétences intermédiaires ou pluridisciplinaires.

Enfin, ceux qui présentent une expertise pointue sur les nouveaux domaines d'application (IA, cryptographie, statistiques, modélisation) sont encore plus convoités.

Ces compétences recherchées sont considérées en pénurie par les acteurs économiques, face à un besoin croissant et des exigences de plus en plus fortes. D'après l'enquête de Kantar Public et de l'ESSEC[21] réalisée en 2021 auprès de 104 entreprises, à la demande de la Mission numérique gouvernementale des grands groupes, la majorité des cadres dirigeants d'entreprise interrogés estiment rencontrer des difficultés de recrutement relatifs à l'analyse de données (*data*), d'autant plus qu'ils estiment pour la plupart que l'évaluation de leurs besoins dans ces métiers est compliquée. Le manque de profils disponibles est un des facteurs explicatifs avancés par les dirigeants interrogés. Plus de la moitié d'entre eux formulent à ce titre une critique des formations en France jugées insuffisamment en lien avec le monde de l'entreprise et insuffisantes en nombre pour répondre à leurs besoins.

Au cours des entretiens menées par Kantar Public et l'ESSEC, les acteurs du monde économique ont également formulé l'avis que certaines compétences étudiées n'étaient pas utilisées sur le marché du travail et en entreprise.

2.1.2 Certaines entreprises interrogées déplorent une diminution des compétences en mathématiques de base ou intermédiaires chez leurs salariés, à laquelle ils tentent de remédier en développant une formation continue

Pour faire face à ces besoins, les entreprises interrogées développent des dispositifs de formation continue au sein de leur entreprise ou avec des académiques. A titre d'exemple, une grande entreprise industrielle française interrogée a mis en œuvre des dispositifs de formation continue pour pallier certaines lacunes des cadres techniques et manageurs en matière de compétences en mathématiques de base ou intermédiaires (ex. statistiques de base, lecture d'indicateurs de position – médiane, moyenne – ou de dispersion). Ces formations prennent des formes différentes comme des modules de « e-learning », des ateliers (« *bootcamp* ») ou bien la mise en place d'une académie au sein des grandes entreprises pour former au cours de la carrière. Sur ce modèle, les universités pourraient développer plus de partenariats de formation continue avec les entreprises.

2.2 Le rôle des formations en mathématiques dans la production de compétences pertinentes pour les secteurs économiques

La demande croissante de la part des entreprises en compétences interroge à la fois le rôle des formations et des universités dans la production de compétences pertinentes pour les acteurs économiques, et l'ouverture du monde économique aux profils académiques comme les docteurs en mathématiques.

[21] Kantar Public et ESSEC, Le futur des métiers de la data vu par les grands groupes français, 2021

Si le niveau des étudiants en formations sélectives reste de manière générale, excellent aux yeux du monde économique, la question de la finalité de l'enseignement universitaire et de sa pertinence pour les entreprises se pose aujourd'hui. Le débat relatif à la finalité de la recherche en mathématiques est également transposable aux enjeux de l'enseignement des mathématiques. La didacticienne Aline Robert résume ainsi : *« il y a aussi le balancement dans l'enseignement entre l'objectif de former des gens pour répondre à la demande des entreprises et de former à l'essence des maths qui est la pensée abstraite »*[22]. Les universités doivent-elles produire des compétences pertinentes en mathématiques ou développer des connaissances mathématiques favorisant la recherche ? Il peut être souligné que ces objectifs ne sont pas nécessairement contradictoires.

A ce titre, la loi relative aux libertés et responsabilités des universités (loi LRU) adoptée en 2007 visait notamment à conférer une liberté aux universités dans l'élaboration d'une politique de formation et de recherche qui leur soit propre afin d'octroyer une meilleure adaptabilité du projet de chaque établissement aux besoins de formation et de recherche de son territoire et aux moyens disponibles. L'autonomie des universités pourrait permettre aux universités de se différencier en proposant une offre de formations plus adaptées à la demande des entreprises mais au détriment de certaines formations insuffisamment demandées – des disciplines « orphelines ».

Aussi, face à l'écart entre les compétences acquises en mathématiques au cours de la formation et les compétences plus opérationnelles exigées en entreprise, la multidisciplinarité et la polyvalence des profils mathématiques présentent-elles une opportunité de différenciation des profils. Le développement d'une double-compétence et d'une polyvalence est une réponse aux nouveaux besoins des entreprises dont la complexité est croissante – par exemple, les sujets relatifs à la collecte de données et à l'intelligence artificielle convoquent une multitude de connaissances mathématiques mais aussi juridiques et informatiques notamment.

Néanmoins, l'ouverture parfois jugée insuffisante du monde économique aux profils académiques mathématiques peut expliquer cet écart. Il peut être souligné à ce titre des différences de culture scientifique des entreprises en France et en Allemagne, pouvant expliquer la part plus importante de docteurs en mathématiques au sein des entreprises allemandes. Certains acteurs du monde académique soulignent l'ouverture des entreprises allemandes aux docteurs en mathématiques en particulier ceux dont le domaine de recherche n'est pas applicatif. Cette ouverture s'explique par une culture de la recherche plus prégnante et des carrières davantage liées à la recherche au sein des entreprises allemandes que dans les entreprises françaises. Les dirigeants des entreprises allemandes ont du reste souvent effectué leurs études à l'université.

[22] Café pédagogique, Aline Robert : Enseigner les maths, 2018

3. Valorisation du transfert de savoirs et des collaborations entre mondes économique et académique

3.1 Des collaborations entre le monde académique et les entreprises diverses mais peu développées

Les dispositifs facilitant les interactions entre le monde de la recherche et le monde économique sont multiples : (i) dispositifs bilatéraux tels que les laboratoires communs et les conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE), (ii) les dispositifs multipartites tels que les appels à projet partenariaux et les chaires industrielles, (iii) Les autres dispositifs ou établissements favorisant les transferts de la recherche vers le monde économique tels que les sociétés d'accélération et du transfert de technologies (SATT), le CNRS Innovation et les projets de startups au sein de l'Inria, (iv) l'initiative spécifique aux mathématiques de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (AMIES) favorisant les interactions recherche-entreprises. Toutefois, s'agissant de la recherche en mathématiques, ces dispositifs semblent encore peu développés.

Malgré leur diversité, les collaborations entre le monde de la recherche et celui des entreprises dans le domaine mathématique sont encore peu développées. Pourtant les mathématiques ont un rôle dans le développement technologique et économique. Dans un contexte où la concurrence mondiale est de plus en plus forte, l'innovation permet aux entreprises de rester concurrentielles. Les entreprises ont par ailleurs à faire face à de nouvelles problématiques complexes qui nécessitent de « nouvelles mathématiques » pour y répondre. La production de connaissances scientifiques et mathématiques et leur transposition aux enjeux du monde économique permettent aux entreprises de rester compétitives.

Les mathématiques, plus particulièrement, y contribuent de manière fondamentale, à travers l'utilisation constante de son langage pour résoudre des problèmes, de ses outils comme la simulation numérique et la modélisation mathématiques dans la création et la certification de connaissance (ex. certification des algorithmes par des preuves formelles)

Partant de ce constat, **les collaborations entre le monde de la recherche et celui des entreprises sont un moyen efficace pour permettre l'applicabilité rapide de connaissances mathématiques. Qui concernent-elles ? Quelles formes prennent-elles en France ? Quel est leur volume ? Comment améliorer leur impact ?**

Tout d'abord, les collaborations impliquent des équipes de recherche en mathématiques provenant d'établissements publics (ex., laboratoires, universités) **et des entreprises. Elles prennent la forme de projets de recherche qui peuvent être collaboratifs** (un partenaire s'associe avec un laboratoire public, les ressources et les couts sont partagés)**, contractuels** (un commanditaire finance la recherche sans y participer) **ou en consultation** (un commanditaire emploie un chercheur dans un cadre précis). Enfin, les collaborations entre le monde de la recherche et celui des entreprises prennent des formes diverses :

- Les dispositifs bilatéraux :
  - **Les laboratoires communs** (labcom) ont pour but d'inciter les acteurs de la recherche académique à créer des partenariats structurés entre une entreprise (TPE, ETI, PME

ou grandes entreprises) et un laboratoire d'organisme de recherche. L'appellation peut désigner les laboratoires communs de l'ANR (ex. LOPF) ou du CNRS (ex. I3M). Le laboratoire *large-scale optimization of product flows* (LOPF) associe le laboratoire de probabilités, statistiques et modélisation (LPSM) et l'entreprise Califrais, une startup spécialisée dans l'approvisionnement en denrées alimentaires de professionnels via l'intelligence artificielle. Le laboratoire commun du CNRS Imagerie Métabolique Multi-Noyaux Multi-Organes (I3M) associe des équipes de chercheurs de l'université de Poitiers à l'industriel Siemens.

- **Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE) ou « thèses CIFRE »** (*cf. annexe* 3) permet à l'entreprise de bénéficier d'une aide financière pour recruter un jeune doctorant dont les travaux de recherche, encadrés par un laboratoire public de recherche, conduiront à la soutenance d'une thèse. A noter que les thèses CIFRE ne sont pas le seul exemple de financement de thèses industrielles : d'autres mécanismes indirects comme les projets collaboratifs financés par la banque publique d'investissement Bpifrance – financement d'un doctorant par un industriel via Bpifrance – peuvent également être soulignés.
- **La consultance** est favorisée par les entreprises lorsqu'elles veulent employer un chercheur afin de bénéficier de son expertise dans le cadre d'un problème précis

- Les dispositifs multipartites :
  - **Les appels à projets partenariaux** sont émis par des administrations nationales centrales, des opérateurs de l'Etat (ex., ANR, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) ou des actions européennes (Horizon 2020 ; actions du Conseil européen de la recherche – ERC). Ils sont réservés aux projets qui associent des partenaires publics et privés.
  - **Les chaires industrielles** permettent à un scientifique d'être titulaire d'une chaire industrielle au sein d'un organisme de recherche. L'ANR co-finance la chaire avec les partenaires industriels. L'objectif est de permettre au titulaire de la chaire de développer un programme durable de recherche à portée industrielle avec les partenaires industriels. Au sein du périmètre des laboratoires de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI), au moins 8 chaires industrielles en lien avec les mathématiques ont été identifiées de 2008 à 2021[23]. La chaire en mathématiques appliquées OQUAIDO (optimisation et quantification d'incertitudes pour les données onéreuses) hébergée par l'Ecole des Mines de Saint-Etienne de 2016 à 2021 a réuni des partenaires académiques et industriels pour résoudre des problèmes liés à l'exploitation des simulateurs numériques, tels que la quantification d'incertitudes, l'inversion et l'optimisation. Au sein des écoles d'ingénieur, d'autres chaires industrielles (hors ANR) peuvent également être recensées.
- Les autres dispositifs ou établissements favorisant les transferts de la recherche vers le monde économique tels que :
  - **Les sociétés d'accélération du transfert de technologies (SATT)**, créées dans le cadre du premier programme d'investissement d'avenir (PIA 1), assurent le relais entre les laboratoires de recherche et les entreprises et financent les phases de maturation des projets et des preuves de concept. 13 SATT[24] sont réparties en France, dans lesquelles les communautés mathématiques semblent néanmoins peu représentées. Ces sociétés sont structurées en sociétés anonymes avec prise de participations.
  - **Afin de valoriser les résultats de recherche issus des laboratoires dont il assure une tutelle, le CNRS a mis en place une politique active d'identification et d'accompagnement des projets, en portant une attention spécifique aux**

[23] Données INSMI
[24] Réseau SATT – https://www.satt.fr/le-reseau-satt/

premières étapes de leur maturation technologique. Le CNRS accompagne ainsi, au travers de sa filiale CNRS Innovation[25], une centaine de projets par an dans tous les domaines, dont de nombreux projets qui s'appuient sur des compétences mathématiques fortes. Les projets les plus pertinents bénéficient également d'un accompagnement méthodologique, afin de guider les chercheurs sur la voie de l'entrepreneuriat. Plus du quart des 1800 startups créées depuis 20 ans à partir de laboratoires sous tutelle du CNRS sont par exemple actives dans le domaine du numérique et du traitement de l'information.

- **Afin de favoriser le transfert de connaissances l'Inria s'appuie notamment sur le réseau de startups, lesquelles sont vectrices des transferts et donnent une dimension économique aux découvertes scientifiques.** Les startups participent du transfert par deux voies : (i) des doctorants en mathématiques les intègrent, ou parfois les créent après leur soutenance, et irriguent les secteurs économiques ; (ii) l'accompagnement par l'Inria de projets de startups dans des domaines technologiques. Depuis 2019, plus de 80 projets de startups ont été accompagnées par le programme Inria Startup Studio, dont la moitié peut être rattachée à des projets à forte composante mathématique (ex. intelligence artificielle et données massives, analyse d'image, traitement du signal, réseaux numériques).

- Enfin, spécifiquement pour les mathématiques, **l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société** (AMIES) a pour but d'initier et promouvoir les collaborations maths-entreprises.

Si les dispositifs sont multiples, la relation entre monde de la recherche en mathématiques et celui des entreprises n'est pas clairement pilotée (manque de données, diversité des outils), ce qui ne permet pas une évaluation convenable. A partir des données disponibles, on constate que les **collaborations restent peu intenses et représentées dans le monde de la recherche scientifique** :

- Le CNRS compte plus de 200 laboratoires communs avec une entreprise en 2021, mais seulement un relève de l'INSMI[26] (le laboratoire I3M). A noter que les laboratoires ayant une équipe INRIA en leur sein ont aussi un lien fort vers l'industrie

- Selon les données de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance du Ministère de l'Education nationale, de la Jeunesse et des Sports (DEPP)[27], les thèses CIFRE représentent 15 % des inscrits en première année de doctorat de mathématiques ayant obtenu un financement pour leur thèse en 2020 et 2019 contre 10 % en 2018 et 8 % en moyenne pour les autres disciplines en 2020. Néanmoins, d'après l'Institut des politiques publiques[28] (IPP), la part des thèses mathématiques dans l'ensemble des bourses CIFRE de 2008 à 2018 demeure-t-elle faible en comparaison d'autres disciplines – de l'ordre de 6 % du nombre total de CIFRE (11 000 CIFRE) sur cette période contre près de 22 % pour l'informatique et les technologies de l'information et de la communication (TIC) et 19 % pour les sciences de l'ingénieur.

- En 2021, l'AMIES comptabilise un nombre croissant de collaborations avec des entreprises. En 2021, 724 entreprises ont collaboré avec des laboratoires de recherche en mathématiques[29] – soit 21 % de plus qu'en 2019 (600 entreprises) – et 550 chercheurs en mathématiques au moins ont collaboré avec le monde économique.

[25] https://www.cnrsinnovation.com/a-propos/

[26] INSMI

[27] DEPP, Repères et références statistiques, éditions 2021, 2020 et 2019

[28] IPP, rapport n°27, Evaluation des effets du dispositif CIFRE sur les entreprises et les doctorants participants, 2020, Figure 2.8

[29] AMIES, Lettres d'information (janvier 2020 et 2022)

L'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (AMIES) est une initiative de l'INSMI en collaboration avec l'Université Grenoble-Alpes, créée en 2011 dans le cadre du programme investissements d'avenir (PIA 1), labelisée en tant que laboratoire d'excellence, qui finance des projets de collaboration mathématiques-industrie et promeut les collaborations via, par exemple, le réseau modélisation, simulation, optimisation (MSO) qui relie des laboratoires de mathématiques aux entreprises. L'AMIES tisse un lien entre la recherche mathématique et les entreprises à travers 3 principales actions.

- *Les projets exploratoires premier soutien (PEPS), lesquels permettent d'amorcer des projets de collaboration avec des entreprises en co-finançant le projet de recherche jusqu'à 50 000 euros. 12 projets exploratoires ont été financés à hauteur de 300 000 euros en 2021, après 19 projets financés à hauteur de 400 000 euros en 2019, et 26 pour 270 000 euros en 2018[30].*
- *Les semaines d'études mathématiques entreprises (SEME) qui réunissent 4 fois par an des doctorants et des entreprises venant présenter un problème sur lequel les doctorants travaillent afin de proposer des solutions innovantes.*
- *Le forum emploi maths qui réunit annuellement près de 2 000 participants (dont 1 500 étudiants en mathématiques) et une quarantaine d'entreprises.*

Néanmoins, la portée de ses actions reste limitée par leur manque de visibilité auprès des entreprises et le faible engagement des chercheurs dans les PEPS.

3.2 Des causes diverses pour expliquer le peu de collaborations

Plusieurs raisons expliquent la faiblesse d'exploitation des collaborations entre les entreprises et les laboratoires. L'étude de l'impact socio-économique des Mathématiques en France publiée en 2015 avait développé différents constats, et certains d'entre eux, toujours d'actualité, sont partagés par cette étude.

- Les collaborations sont freinées par les difficultés des entreprises, notamment les plus petites (ETI/PME), à identifier leurs besoins en mathématiques, à formuler leurs problématiques en termes mathématiques et à identifier les interlocuteurs les plus à même de répondre à leurs problématiques mathématiques.

- Il est régulièrement fait état d'une valorisation limitée des travaux de recherche appliquée et de transfert. La nécessité d'une formalisation du dialogue, notamment autour des questions de propriété intellectuelle, est parfois perçue comme un frein au dialogue sans intermédiaire entre l'entreprise et le chercheur. Rapprocher les cultures pourrait augmenter la valorisation des travaux de recherche en mathématiques.
- Les compétences mathématiques (académiques et technologiques) mobilisables par le monde économique ne sont pas toujours identifiées par les entreprises. Certaines formations et leurs intitulés sont parfois peu lisibles par les entreprises.

[30] AMIES, Lettres d'information (janvier 2019, 2020 et 2022)

3.3 La lisibilité et l'accès pour les entreprises à la communauté scientifique mathématique, un facteur de collaboration

Comment faire pour valoriser et encourager le transfert de savoirs et la collaboration entre monde de la recherche et celui des entreprises ? Les entretiens menés et les premières réflexions poussent à penser qu'une meilleure identification de la communauté scientifique, un accroissement du recours aux dispositifs de collaboration et du financement de la recherche, et le développement d'une confiance réciproque sont les vecteurs d'une meilleure valorisation du transfert de savoirs et de la collaboration. Toutefois, ces pistes restent préliminaires et nécessiteront un travail d'analyse approfondi.

Tout d'abord, la communauté scientifique gagnerait à devenir plus identifiable auprès des entreprises, et la production des connaissances mathématiques plus lisible. Les acteurs économiques et académiques interrogés ont notamment souligné trois dispositifs ou initiatives qui peuvent améliorer l'identification des laboratoires de recherche et des chercheurs par les entreprises :

- Les initiatives telles que l'AMIES participent à l'amélioration du dialogue entre les entreprises et les laboratoires de recherche. L'AMIES présente une interface entre les entreprises et les laboratoires de recherche à travers ses actions de financement de projets exploratoires premier soutien (PEPS) et de semaines d'études mathématiques entreprises (SEME). A l'occasion de ces rencontres, les acteurs sont incités à trouver un langage commun entre le monde des mathématiques et le monde économique.
- Les plateformes dites thématiques ou multidisciplinaires sont également plébiscitées par les entreprises, notamment les grandes entreprises. Elles sont transversales à plusieurs laboratoires et rassemblent des chercheurs de différentes disciplines sous une thématique (énergie, intelligence artificielle, ingénierie de la santé, sécurité et défense) identifiable par les entreprises. Elles permettent aux chercheurs en mathématiques d'avoir un impact direct sur l'économie via cette collaboration. Les 8 thématiques (ex. la thématique énergies, transports et environnement ; bio-énergie, biologie et santé) de l'Ecole Polytechnique en sont un exemple[31].
- Enfin, la centralisation des appels à projet nationaux au sein d'une unique agence généraliste, l'Agence nationale de la recherche (ANR), pourrait limiter les occasions de collaboration entre le monde de la recherche mathématique et le monde des entreprises. Aux Etats-Unis par exemple plusieurs agences fédérales spécialisées dans des domaines applicatifs divers sont autant d'intermédiaires identifiables par les entreprises pour réaliser des projets collaboratifs en mathématiques avec des laboratoires de recherche. La *Division of mathematical sciences* (DMS) de la *National science foundation* (NSF), qui finance 64 % des montants fédéraux accordés à des projets de recherche en mathématiques[32] en 2015, en est un exemple. Le département de la Défense, le département de la Santé et des Services sociaux et le département de l'Énergie des États-Unis financent respectivement 18 %, 12 % et 5 % des montants fédéraux accordés aux mathématiques.

3.4 L'intensification des dispositifs de collaboration recherche-entreprises

Si les dispositifs de collaboration fonctionnent, ils pourraient être davantage mis en avant, voire reproduits à grande échelle. Au-delà des axes évoqués dans l'étude de 2015 relatifs à la mise en réseau à l'échelle nationale de la communauté académique, au

[31] https://www.polytechnique.edu/fr/thematiques-de-recherche
[32] Reza Malek-Madani et Karen Saxe, Federal Funding for Mathematics Research, American Mathematical Society, 2019

développement des laboratoires communs avec des entreprises sur une période longue et de manière moins dépendante des appels à projet et à la mise en place de partenariats structurants, **la montée en puissance des chaires industrielles, des laboratoires communs et des dispositifs Conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE)** pourraient présenter des opportunités pour la recherche mathématique et les entreprises de collaborer.

- En effet d'ici 2027, l'ANR[33] vise le doublement du nombre de chaires industrielles et de laboratoires communs. Par ailleurs, l'augmentation de 50% des dispositifs CIFRE pour atteindre 2 150 CIFRE par an en 2027, prévue par la loi de programmation pluriannuelle de la recherche 2021-2030 (LPPR 2021-2030), pourrait bénéficier aux doctorants en mathématiques et renforcer leur relation avec les entreprises.
- La création d'un nouveau dispositif de conventions industrielles de mobilité en entreprise des chercheurs (CIMEC) par la loi de programmation pluriannuelle de la recherche (LPPR) 2021-2030, représente une nouvelle opportunité de collaboration entre recherche en mathématiques et les entreprises. Les CIMEC auront pour les chercheurs le rôle que jouent les conventions CIFRE pour les doctorants. Elles favoriseraient la mobilité des chercheurs désireux de travailler à temps partiel en entreprise dans le cadre d'un partenariat avec un laboratoire public.
- Les thèses CIFRE représentant 15 % des inscrits en première année de doctorat de mathématiques[34] ayant obtenu un financement pour leur thèse en 2020, il est probable qu'elles concernent en majeure partie les doctorants qui se destinent a priori à travailler en entreprise. Convaincre les doctorants financés, par un autre dispositif que le CIFRE, des perspectives de carrière en entreprise est donc un objectif. Certains acteurs soulignent l'opportunité de compléter les CIFRE par un dispositif, tel que le doctorat-conseil qui apparaît sous-utilisé, offrant la possibilité aux doctorants de réaliser des stages courts en entreprise afin de découvrir le fonctionnement des entreprises et échanger. Un tel dispositif permet de renforcer l'attractivité des filières doctorales en mathématiques, de multiplier les passerelles entre recherche et entreprises, et de permettre aux entreprises de mieux connaître et comprendre la recherche en mathématiques.
- Une grande entreprise industrielle française, regrettant le caractère contraignant des appels à projets de l'ANR, a évoqué le besoin d'une simplification des modalités et des interactions avec l'ANR. En particulier, la mise en place d'un mode de collaboration qui permet aux entreprises d'avoir accès à des connaissances sans être participantes d'un projet ANR – sans bénéficier d'un financement – présente une opportunité d'accélérer l'application industrielle d'une connaissance mathématique théorique et de faciliter les collaborations recherche-entreprises. Concrètement, une entreprise pourrait, par exemple, poser une problématique mathématique pour un projet ANR sans y être participante et bénéficier de manière accélérée et protégée des résultats du projet.

Enfin, d'autres leviers d'amélioration du transfert de savoirs et des collaborations ont été évoqués lors des entretiens et nécessiteront des approfondissements : accroissement des financements d'origine privée et publique, développement d'une confiance réciproque, développement de thématiques de thèses d'intérêt pour les entreprises, promotion de la collaboration entre acteurs de la recherche au niveau européen. Aussi, sur le modèle d'ouverture des entreprises allemandes aux docteurs, une plus grande culture de la recherche scientifique au sein des entreprises françaises est plus à même de renforcer le dialogue entre le monde de la recherche et les entreprises.

[33] Le plan d'action 2022 de l'ANR, juillet 2021
[34] DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

4. Pistes d'amélioration des débouchés professionnels des mathématiciens

L'amélioration des débouchés professionnels des mathématiciens et docteurs en mathématiques est essentielle à la production de connaissances et de compétences mathématiques pertinentes pour les entreprises.

4.1 Une politique d'image de marque pour les mathématiques françaises

Améliorer l'image de marque des mathématiques permettrait d'améliorer la situation actuelle. Face au constat d'une diminution de l'attractivité de la filière mathématique française auprès des étudiants et doctorants étrangers – ces derniers lui préférant les universités américaines – une politique d'attractivité de docteurs de très haut niveau est à même de renforcer la qualité de la production de connaissances mathématiques. Aussi, certaines inquiétudes apparaissent-elles quant à l'attractivité de la recherche publique française auprès des étudiants déjà sur le territoire, des acteurs du monde académique évoquant une « fuite des cerveaux » vers l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Suisse ou les Etats-Unis. Une part non négligeable des étudiants en mathématiques – entre 50 et 100 étudiants sur 600 étudiants qui ont obtenu leur diplôme de master 2 à Paris selon Emmanuel Trélat en 2018[35] – qui ont fait leur cursus universitaire en France, quitterait le territoire après avoir obtenu leur diplôme de master 2 en région parisienne, ou à l'issue de leur doctorat.

Deux pistes ont notamment été proposées lors des entretiens pour revaloriser les doctorats en mathématiques afin de retenir les étudiants sur le territoire et attirer les étudiants étrangers prometteurs :

- La mise en place de programmes spécifiques de doctorat inspirés des systèmes anglo-saxons pour recruter et retenir des jeunes étudiants pendant 5 ans après un premier cycle, notamment de l'étranger.
- Une politique de revalorisation salariale des docteurs et des doctorants dans la recherche publique afin de rapprocher les carrières dans le privé et le public.

4.2 Les passerelles vers le secteur privé pour les docteurs en mathématiques

Toutefois, afin d'enrichir les débouchés dse nouveaux docteurs en mathématiques, les passerelles vers le secteur privé pourraient être facilitées. Plusieurs pistes ont été présentées :

- Plusieurs entreprises rencontrées lors des entretiens ont émis le souhait de voir les chercheurs être mieux préparés à travailler dans le secteur privé. La proposition d'une préparation des docteurs dans leur formation doctorale à cette fin pourrait être envisagée, en élargissant par exemple l'initiative des SEME de l'AMIES.
- Sur le modèle des services de relations écoles-entreprises (ex. visibilité auprès des étudiants via des événements, conférence des métiers, présentations et visites d'entreprises pour les étudiants ou des stages) dans certaines écoles d'ingénieur, plébiscitées par les entreprises, la mise en place de tels services à destination des doctorants et des entreprises présenterait un moyen de valoriser les passages de la

[35] Le Monde, IA, maths, ingénierie… les diplômés français ont la cote à l'international, 16 mai 2018

recherche publique au secteur privé, et de favoriser l'insertion professionnelle des docteurs en mathématiques.

4.3 Un élargissement des perspectives d'évolution des docteurs en mathématiques dans le secteur privé

Enfin, les perspectives d'évolution de carrière des docteurs en mathématiques dans le privé peuvent être élargies. Lors des entretiens, la nécessité d'un décloisonnement des carrières des docteurs en mathématiques dans le monde académique et le monde de l'entreprise a été partagée. A ce titre, deux types de bonnes pratiques au sein des entreprises ont été mises en avant :

- Certaines entreprises proposent des perspectives de carrières attractives en proposant aux docteurs des opportunités d'occuper des fonctions managériales.
- D'autres préconisent pour les docteurs notamment les plus jeunes, l'aménagement sur le temps de travail d'un temps dédié à la recherche académique au cours de la semaine ou du mois.

Partie 3

Evolution de la recherche et de la formation françaises en mathématiques

1. Les mathématiques, une discipline d'excellence pour la recherche française

1.1 La France, un pays de mathématiques

La recherche publique française est davantage spécialisée en mathématiques que dans d'autres disciplines de recherche et que les autres pays à forte production mathématique tels que les Etats-Unis, la Chine, l'Allemagne et le Royaume-Uni.

1.1.1 Les mathématiques représentent le premier grand domaine de spécialisation de la recherche en France

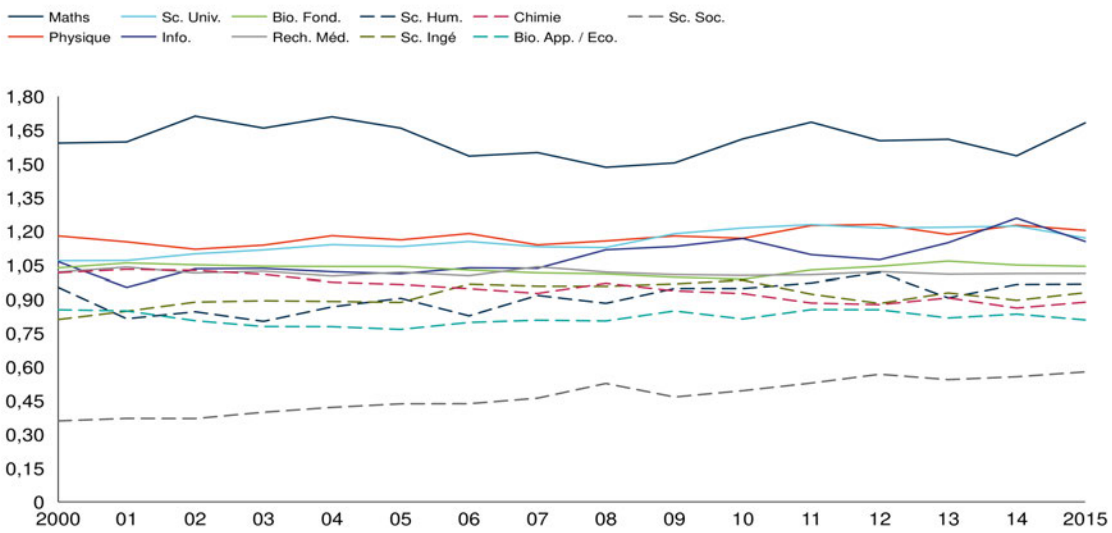
La France est un pays dont la recherche est particulièrement spécialisée en mathématiques. Selon le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)[36], en termes de publications et de recherche plus largement, la France a un profil disciplinaire orienté vers les mathématiques. En effet, la recherche française en mathématiques se voit reconnaître un indice de spécialisation[37] élevé de 1,7 en 2019 et représente ainsi le premier grand domaine de plus forte spécialisation scientifique en France depuis plus de 20 ans (*cf. graphique* 10). Autrement dit, la part des mathématiques dans les publications françaises est 70 % plus élevée que la part mondiale des mathématiques dans l'ensemble des publications dans le monde. A titre de comparaison, d'autres disciplines de

[36] MESRI, Etat de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en France n°14 (section 32), 2021

[37] L'indice de spécialisation rapporte la part d'une discipline dans le total des publications d'un pays à ce même ratio pour le monde

recherche, telles que l'informatique ou les sciences pour l'ingénieur ont un indice de spécialisation de 0,9.

Graphique 10 : Indices de spécialisation par grande discipline en France de 2000 à 2019

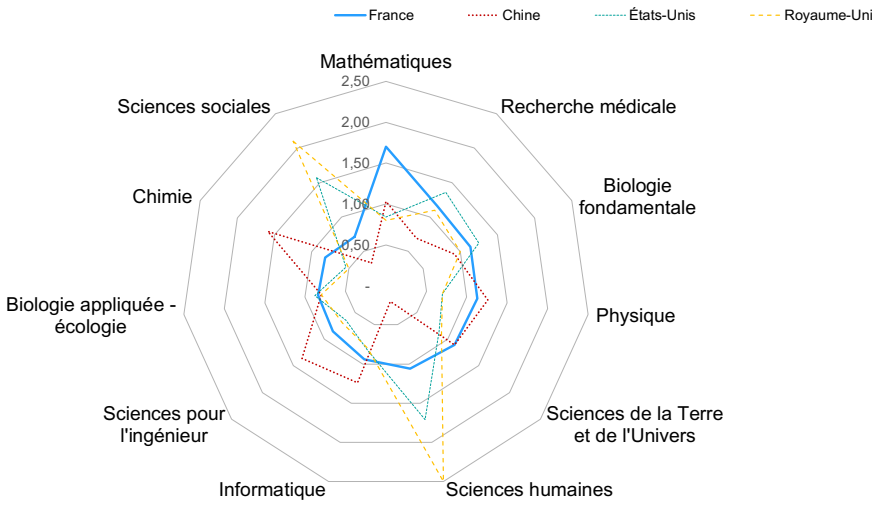


Source : HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018

1.1.2 La recherche française, en comparaison internationale, est davantage spécialisée en mathématiques que dans d'autres pays

La France se démarque à l'international face à d'autres pays comme la Chine, les Etats-Unis ou l'Allemagne dont les indices de spécialisation en mathématiques varient entre 0,8 (Etats-Unis) et 1 (Chine et Allemagne), comme l'illustre le graphique 11.

Graphique 11 : Indices de spécialisation par grande discipline par pays (2019)



Source : MESRI, Etat de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation en France n°14 (section 32), 2021

1.2 L'évolution des effectifs de chercheurs en mathématiques et leurs domaines de recherche

Au moins 3 500 mathématiciens occupant des postes permanents dans la recherche publique, peuvent être identifiés bien que le recensement de la population de chercheurs en mathématiques soit complexe en raison de leur déploiement dans de multiples laboratoires de recherche et de la frontière de plus en plus ténue entre les mathématiques et d'autres disciplines telles que l'informatique. Au sein des universités et des établissements d'enseignement supérieur, le nombre d'enseignants-chercheurs permanents en mathématiques a connu une diminution de 2000 à 2020. Du reste, plus d'un quart des enseignants-chercheurs en mathématiques sont rattachés à un établissement d'enseignement supérieur en Île-de-France (vs. 18,5% de la population française en Ile de France[38]).

1.2.1 La recherche publique en mathématiques compte au moins 3 500 chercheurs permanents, dont le recensement peut être complexe

En France, en 2020, au moins 3 500 mathématiciens occupant des postes permanents dans la recherche publique ont été identifiés dans la recherche publique, mais les recensements en cours notamment par le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES) pourraient dépasser 4 000, en prenant en compte les chercheurs non permanents. En raison du déploiement de la communauté mathématiques au sein de nombreux laboratoires et de la frontière de plus en plus ténue entre les mathématiques et d'autres disciplines, la recherche mathématique française apparaît aujourd'hui diffuse dans la communauté scientifique. Ainsi, il est probable que la communauté compte davantage de chercheurs, en France, lesquels ne sont pas identifiés dans cette analyse.

Pour 2020, une cartographie non exhaustive des chercheurs en mathématiques peut être dressée comme suit (*cf. graphique* 12) :

- 3 040 enseignants-chercheurs titulaires relevant des sections mathématiques du Conseil national des universités (CNU) 25 (« mathématiques ») et 26 (« mathématiques appliquées et applications des mathématiques »)[39] du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). A ces derniers peuvent s'ajouter près de 2 200 doctorants (non permanents) en mathématiques (mathématiques, mathématiques appliquées et sciences sociales et mathématiques et informatique) en France inscrits dans les établissements d'enseignement supérieur en France[40].
- Les chercheurs des établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST)[41], dont le CNRS (380 chercheurs permanents dans la section 41 « Mathématiques et interactions des mathématiques » du CNRS en 2020[42]), l'Institut

[38] INSEE

[39] MESRI, Fiches démographiques des sections du Conseil national des universités (CNU) – Année 2020

[40] MESRI, Tableau de bord de l'enseignement supérieur (hors doubles inscriptions CPGE), février 2022

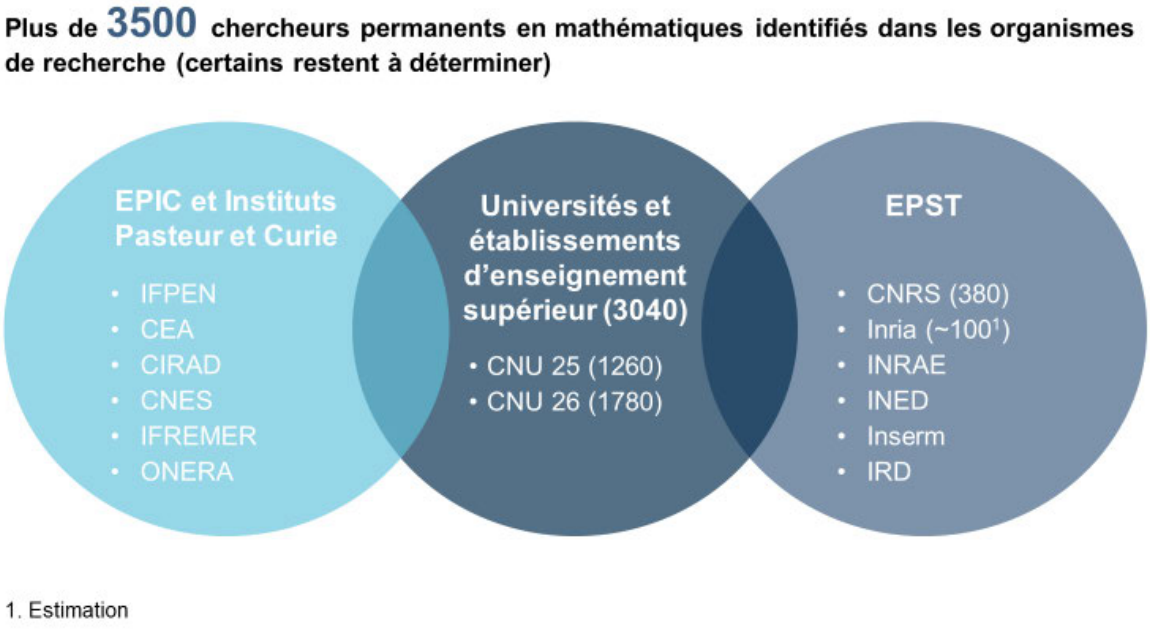
[41] Etablissement public de caractère industriel et commercial est une personne morale de droit public ayant pour but la gestion d'une activité de service public de nature industrielle et commerciale. Cette activité, compte tenu de circonstances, ne pourrait pas être correctement assurée par une entreprise privée à la concurrence.

[42] CNRS, Rapport social unique, 2022, Tableau 33

national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), l'Institut national des études démographiques (INED), l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) et l'Institut de recherche pour le développement (IRD).

- Les chercheurs des établissements publics à caractère industriel et commercial en France (EPIC) chargés d'une mission de recherche dont le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), l'IFP Énergies nouvelles (IFPEN), le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), le Centre national d'études spatiales (CNES), l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) et l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA), et les deux Instituts Pasteur et Curie sans but lucratif.

Graphique 12 : Structure des effectifs de chercheurs en mathématiques en France (estimation)



1.2.2 Les effectifs d'enseignants-chercheurs en mathématiques au sein des universités et des établissements d'enseignement supérieur ont diminué depuis les années 2000

En 2020, selon le MESRI[43], la France compte près de 3 040 enseignants-chercheurs titulaires en mathématiques, lesquels sont composés de 1 940 maîtres de conférence et de 1 100 professeurs d'université. Les enseignants-chercheurs en mathématiques représentent 6 % des effectifs d'enseignants-chercheurs recensés par le CNU (48 000) en 2020.

En 2020, selon les données du MESRI[44], les chercheurs en mathématiques fondamentales (section 25 « mathématiques » du CNU) représentent 1 260 personnes (41 % des effectifs de

[43] MESRI, Fiches démographiques des sections de sciences CNU – Année 2020

[44] MESRI, Tableau des enseignants de l'enseignement supérieur public, 2020

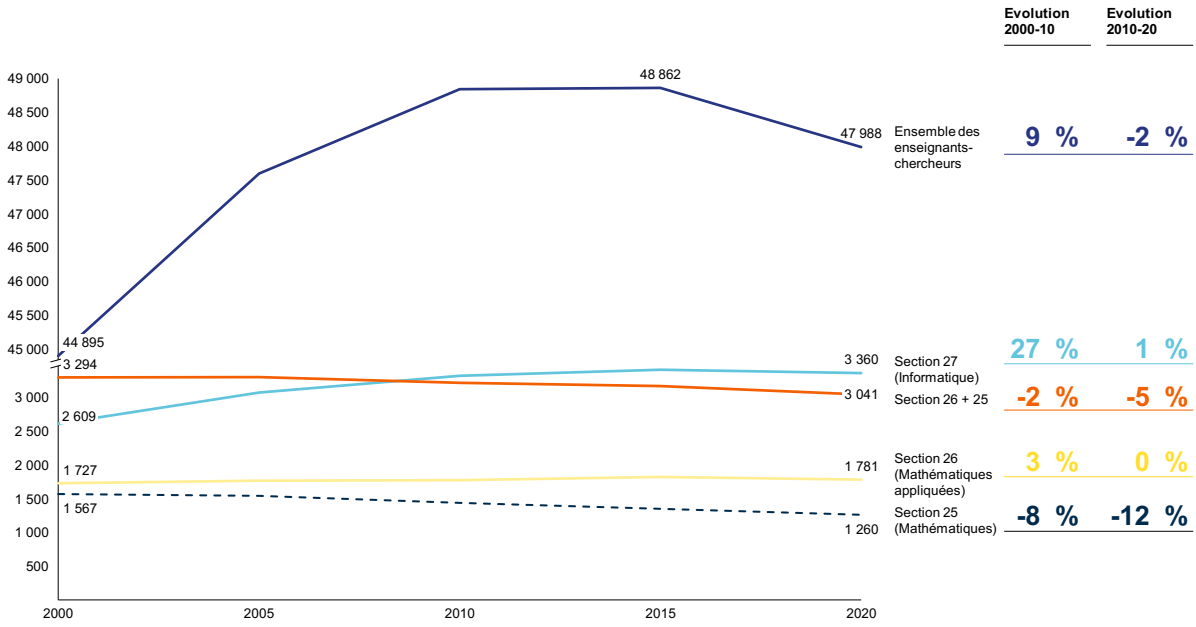
chercheurs en mathématiques du CNU). Les chercheurs en mathématiques appliquées (section 26 « mathématiques appliquées et applications des mathématiques » du CNU) représentent quant à eux 1780 personnes (59 % des effectifs).

D'après les données du CNU[45], depuis les années 2000 les effectifs des enseignants-chercheurs en mathématiques (sections 25 et 26) connaissent une baisse de 8 % (*cf. graphique* 13)**, principalement en raison de la forte baisse des chercheurs en mathématiques fondamentales (section 25).**

Alors que l'ensemble des enseignants-chercheurs (toutes disciplines confondues) augmente entre 2000 et 2010 de 9 %, les effectifs d'enseignants-chercheurs en mathématiques (section 25) diminuent de 8 %. Quant aux mathématiques appliquées (section 26), les effectifs augmentent de 3 %.

Depuis 2010, l'ensemble des enseignants-chercheurs connait pour une première fois une réduction de ses effectifs (-2 %, principalement depuis 2015) et la baisse des effectifs de chercheurs en mathématiques (section 25) s'accélère avec -12 % entre 2010 et 2020, tandis que la section 26 cesse de croître.

Graphique 13 : Evolution du nombre d'enseignants-chercheurs titulaires en mathématiques par section de 2000 à 2020, nombre d'enseignants-chercheurs



Source : MESRI, Fiches démographiques des sections du Conseil national des universités (CNU)

En ce qui concerne la répartition géographique, 27 % des enseignants-chercheurs des sections 25 et 26 sont localisés en Ile-de-France en 2020 contre 26 % en 2015. Cette concentration est d'autant plus forte pour la section 26 (29 % en 2020) comparativement à la section 25 (23 %)[46].

Ainsi, s'il est possible aujourd'hui de constater une tendance à la baisse du nombre de chercheurs en mathématiques, **il est reste difficile d'identifier l'exacte quantification de le**

[45] MESRI, Fiches démographiques des sections de sciences CNU – Année 2020

[46] MESRI, Fiches démographiques des sections de sciences CNU – Année 2020

communauté mathématique. Par exemple, dans certains organismes de recherche, l'interaction des mathématiques avec l'informatique rend imprécise la définition des postes de chercheurs en mathématiques. Cette difficulté d'identifier l'ensemble des mathématiciens, tant en raison de leur implication dans de nombreuses structures que des porosités disciplinaires est un défi à l'animation de la communauté la plus large.

Aussi, les chercheurs en mathématiques qui travaillent dans des structures de recherche privées pourraient également être pris en compte dans les effectifs de chercheurs en mathématiques.

1.3 La reconnaissance des mathématiques françaises à l'étranger

Le rayonnement de la recherche française en mathématiques se manifeste aussi à travers de nombreuses récompenses – la médaille Fields et le prix Abel étant les plus prestigieuses. Si les classements internationaux d'universités utilisent des méthodologies perfectibles pour les mathématiques, les universités françaises y sont reconnues. Le classement dit de Shanghai, lequel connaît une couverture médiatique importante en France, place 18 universités dans les 100 premières universités en mathématiques dans le monde – dont la première (Université Paris-Saclay) et la troisième (Sorbonne-Université) du classement. Les autres classements QS et Times Higher Education World University placent respectivement 4 et 3 universités françaises dans les 100 premières universités en mathématiques.

1.3.1 Les mathématiciens français sont régulièrement primés

La France est dans le peloton de tête en nombre de médailles Fields avec 16 médaillés Fields[47] ayant réalisé leurs travaux dans des laboratoires de recherche en France (les trois dernières datant de 2010,2014 et 2022). En considérant les nationalités uniquement, avec 13 médaillés Fields français, la France est devant la Russie (9 médailles), le Royaume-Uni (7) et à une médaille des Etats-Unis (15). **La France occupe la 2e place des pays lauréats des prix Abel (créée en 2003) derrières les Etats-Unis, avec 4 lauréats** en 2003 (Serre), 2008 (Tits), 2009 (Gromov) et 2017 (Meyer). Également, plusieurs mathématiciens français depuis 2010 se sont vu remettre des prix importants de mathématiques comme le prix Wolf en 2019 (Le Gall), ou les prix Shaw en 2012 (Kontsevitch), 2017 (Voisin), 2019 (Talagrand) et 2021 (Bismuth).

1.3.2 Si les universités françaises sont en tête du classement dit de Shanghai en mathématiques, elles connaissent des résultats contrastés au sein des autres classements internationaux

Concernant le classement des universités françaises, trois publications internationales captent le plus l'attention médiatique. Il s'agit du Times Higher Education World University Rankings, le classement mondial des universités Quacquarelli Symonds (QS) et le classement académique des universités mondiales par l'université Jiao Tong de Shanghai. **Le classement en « mathématiques » qui présente le meilleur rang pour la France, c'est-à-dire comptabilisant le plus d'universités françaises, est le classement 2021 de Shanghai avec 18 universités dans le top 100 contre 3 selon le Times Higher Education World University et 4 selon le QS. Entre 2017 et 2020-21, les universités et établissements français classés ont tous amélioré leurs scores respectifs.**

Néanmoins, si les classements des établissements universitaires, en particulier le classement de Shanghai, bénéficient chaque année d'une importante couverture médiatique en France, leurs méthodes (*cf. annexe* 4) font régulièrement l'objet de critique en raison de leurs critères restrictifs et peu adaptés à la recherche en mathématiques (ex. le nombre de citations sur une plage limitée à 5 ans).

[47] https://www.cnrs.fr/sites/default/files/press_info/2022-07/210705_CP_HDC_fr_VF.pdf, y compris la dernière obtenue postérieurement à l'étude (mise à jour)

Selon le classement 2022 « mathématiques et statistiques » du Times Higher Education World University[48], la France compte 3 universités dans les 100 premières universités, dont 1 dans les 50 premières. Ces universités sont : Université Paris Sciences et Lettes (PSL, 40e), Sorbonne Université (88e) et Ecole Polytechnique (91e). En 2017, la France comptabilisait 1 université dans le top 100 (ENS, 66e), et aucune dans le top 50.

Selon le classement 2021 « mathématiques » QS[49], la France compte 6 universités dans les 100 premières universités, dont 3 dans les 50 premières contre 20 aux Etats-Unis, 4 en Chine. Les 3 premières françaises sont Université Paris Sciences et Lettes (PSL, 13e), Ecole Polytechnique (24e), Sorbonne Université (29e). Les universités suivantes sont Université de Paris[50] (71e), CentraleSupélec (84e) et Paris-Saclay (86e). En 2018, la France comptabilisait 4 universités dans le top 100 et 2 dans le top 50 (Ecole Polytechnique 31e, ENS 33e, Diderot Paris 7, Pierre et Marie Curie).

Selon le classement 2021 « mathématiques » de Shanghai[51], la France compte 18 universités dans les 100 premières, dont 7 dans les 50 premières. Parmi les 15 premières universités du classement de Shanghai en 2021 en mathématiques (*cf. graphique* 14), la France (3) est le deuxième pays représenté derrière les Etats-Unis (7) et devant le Royaume-Uni (2). Les universités françaises sont : Paris-Saclay (1e), Sorbonne-Université (3e), Université Paris Sciences et Lettes (PSL, 13e), Université de Paris[49] (22e), Ecole Polytechnique (31e), ENS Lyon (36e) et l'Université Grenoble-Alpes (48e). En 2017, la France comptabilisait le même nombre d'universités dans le top 100 et 50 selon le classement de Shanghai mais ne comptabilisait qu'une université dans le top 3 (vs. 2 en 2021).

Selon le classement 2021*« mathematics and computer science »* de Leiden sur la période 2016-2019[52], en termes d'impact scientifique, la France compte 2 universités dans les 100 premières universités, et aucune dans les 50 premières. Ces universités sont Paris-Saclay (61e) et l'Université Grenoble Alpes (98e). En termes de collaboration, elle compte 4 universités dans les 100 premières dont 2 dans les 50 premières. Ces universités sont Paris-Saclay (35e), Université Paris-Sorbonne (49e), Grenoble Alpes (79e) et l'Université de Paris[49] (98e). L'Ecole Polytechnique est 103e.

[48] Classement Times Higher Education World University 2022 – https://www.timeshighereducation.com/search/subject/mathematics-statistics-3075/type/ranking_institution
[49] Classement QS 2021 – https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2021/mathematics
[50] Désormais Université Paris Cité
[51] Classement Shanghai 2021 – https://www.shanghairanking.com/rankings/gras/2021/RS0101
[52] Classement Leiden 2021 – https://www.leidenranking.com/ranking/2021/list

Graphique 14 : Classement de Shanghai en mathématiques en 2021 (15 premières universités) – Shanghai ranking

Classement	Pays	Université
1	France	Paris-Saclay University[1]
2	Etats-Unis	Princeton University
3	France	Sorbonne University[2]
4	Royaume-Uni	University of Cambridge
5	Royaume-Uni	University of Oxford
6	Etats-Unis	Stanford University
7	Etats-Unis	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
8	Etats-Unis	New York University
9	Suisse	ETH Zurich
10	Etats-Unis	The University of Texas at Austin
11	Etats-Unis	University of California, Los Angeles
12	Etats-Unis	University of California, Berkeley
13	France	PSL University[3]
14	Allemagne	University of Bonn
15	Etats-Unis	University of Wisconsin - Madison

1. Regroupement de Paris Sud avec Paris-Saclay à partir de 2020
2. Regroupement de Pierre et Marie Curie avec Sorbonne à partir de 2018
3. Regroupement de 11 établissements dans l'Université PSL à partir de 2019

Source : Classement de Shanghai des universités en mathématiques 2021

1.4 Le recul de la position de la recherche française dans le monde depuis les années 2000

De 2000 à 2019 la part de la France dans les publications mathématiques dans le monde est passée de 7,9 % en 2000 à 4,3 % en 2019, derrière la Chine (19 % des publications dans le monde en 2015) et les Etats-Unis (16 % en 2015) d'après les données du HCERES. Selon la base de données considérée, ces indicateurs bibliométriques peuvent varier. Néanmoins, au sein des revues les plus sélectives, la recherche française en mathématiques est au deuxième rang mondial avec 10 % des publications, derrière les Etats-Unis (34 %). Selon la classification reprise par le HCERES (mathématiques fondamentales, mathématiques appliquées, statistiques et probabilités et mathématiques pour applications interdisciplinaires), près de la moitié des publications françaises en mathématiques ont trait aux mathématiques fondamentales de 2000 à 2015.

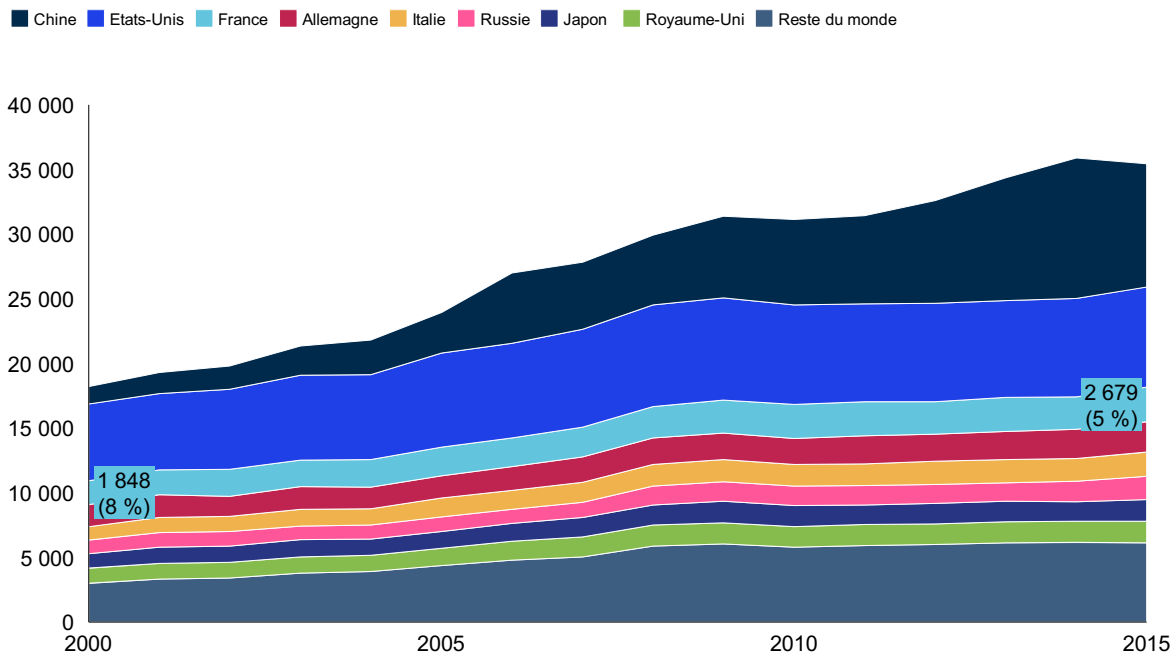
1.4.1 En matière bibliométrique, la recherche française en mathématiques voit sa part dans les publications mondiales de la discipline diminuer depuis les années 2000

La position de la recherche française en mathématiques tend à s'éroder depuis les années 2000.

Selon les données du HCERES[53] (utilisant la base de données Web of Science, Clarivate Analytics), en matière bibliométrique, la part de la France dans les publications mathématiques est passée de 7,9 % en 2000 à 4,3 % en 2019[54]. La recherche mathématique se classe au troisième rang en 2015 en nombre de publications en mathématiques avec 5 % des publications en mathématiques (*cf. graphique* 15), derrière la Chine (19 %) et les Etats-Unis (16 %) et devant l'Allemagne (5 %) et l'Italie (4 %).

Si le nombre de publications françaises a augmenté de près de 3 % par an en moyenne de 2000 à 2015, sa contribution a diminué notamment du fait de l'émergence dans la discipline de la Chine dont le volume de publications en mathématiques a été multiplié par 7 en 15 ans.

Graphique 15 : Evolution du nombre de publications en mathématiques par pays de 2000 à 2015



Source : HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018

1.4.2 Néanmoins au sein des revues les plus sélectives, la recherche française en mathématiques conserve son rang de deuxième pays mathématique du monde

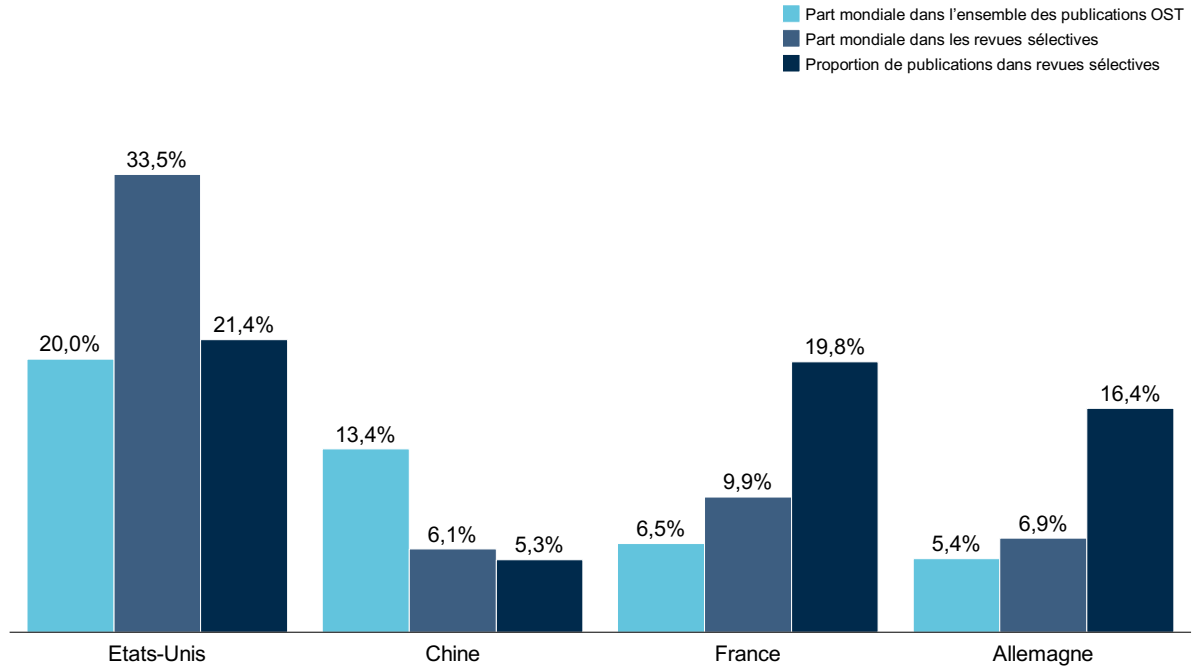
Mesurer la qualité des travaux mathématiques publiés est un travail délicat, notamment parce que nombre d'entre eux mettent un certain temps (parfois plus de 10 ans) à avoir un impact mesurable. Pour tenter cependant de comparer la qualité des travaux publiés en France avec ceux publiés dans d'autres pays, le HCERES a utilisé une liste établie par l'*Australian Mathematical Society*[55] composée de 82 revues de mathématiques. Dans ce corpus sélectif, la part de la France atteint près de 10 % des publications mondiales derrière les Etats-Unis à près de 34 % et devant l'Allemagne 7 % (*cf. graphique* 16). Avec 6 %, la part de la Chine est à l'inverse divisée par plus de 2.

[53] HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018
[54] Rapport sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures, Annexe du projet de loi de finances 2022
[55] https://www.austms.org.au/Rankings/AustMS_final_ranked.html

Ces disparités entre le corpus de revues les plus sélectives et l'ensemble des revues de la base de l'Observatoire des sciences techniques (OST) s'expliquent par le poids plus fort des mathématiques fondamentales dans les revues sélectives, dans lesquelles la France ou les Etats-Unis publient davantage en proportion que la Chine. Le corpus de l'*Australian Mathematical Society*, qui représente 12 % des publications mondiales recensées en mathématiques, tend ainsi à réduire le poids des pays les plus spécialisés en mathématiques appliquées, qui sont souvent des pays ayant développé leur filière mathématiqueuniversi au cours de 40 dernières années.

Cette classification n'offre qu'une lecture partielle de la position de la recherche française en mathématiques dans le monde et devra dès lors être complétée en portant une attention particulière aux mathématiques appliquées. Ce travail complémentaire est d'autant plus nécessaire que certains travaux de mathématiques appliquées peuvent être publiées dans des revues relatives à d'autres domaines scientifiques (ex. physique, biologie).

Graphique 16 : Part mondiale des publications en mathématiques par pays par corpus (2000-2015)



Source : HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018

1.4.3 Les mathématiques fondamentales représentent la moitié des publications françaises en mathématiques

Selon la classification opérée par le HCERES[56] en 2018, la recherche en mathématiques peut se répartir en 4 domaines de recherche repris de la base Web of Science (Clarivate Analytics) utilisée par le HCERES. Les 4 domaines sont les mathématiques fondamentales, les mathématiques appliquées, les statistiques et les probabilités, les mathématiques pour applications interdisciplinaires. Si cette typologie pourrait être davantage complétée, elle permet néanmoins de réaliser des comparaisons internationales.

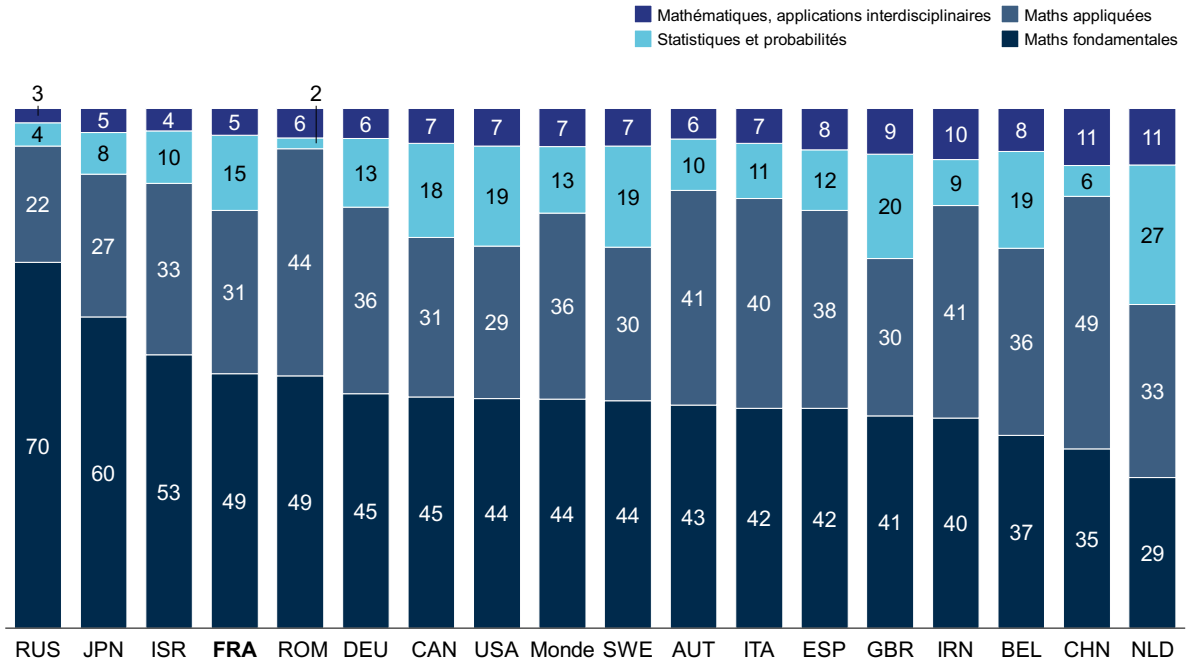
[56] HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018

Nom du domaine	Description du domaine (HCERES, Web of Science[57])	Part du domaine
Mathématiques fondamentales	Cette rubrique couvre les ressources ayant une approche large et générale des mathématiques. Elle comprend également des publications axées sur des domaines spécifiques de la recherche fondamentale, tels que la topologie, l'algèbre, l'analyse fonctionnelle, la théorie combinatoire, la géométrie différentielle et la théorie des nombres.	49 % des publications françaises de 2000 à 2015
Mathématiques appliquées	La rubrique Mathématiques appliquées couvre les ressources relatives aux domaines des mathématiques qui peuvent être appliquées à d'autres domaines scientifiques. Elle comprend des domaines tels que les équations différentielles, l'analyse numérique, la non-linéarité, le contrôle, les logiciels, l'analyse des systèmes, les mathématiques computationnelles et la modélisation mathématique.	31 % des publications françaises de 2000 à 2015
Statistiques & probabilités	Cette rubrique couvre les ressources relatives aux méthodes d'obtention, d'analyse, de résumé et d'interprétation des données numériques ou quantitatives. Les ressources relatives à l'étude des structures et constructions mathématiques utilisées pour analyser la probabilité d'un ensemble donné d'événements parmi une famille de résultats sont également comprises.	15 % des publications françaises de 2000 à 2015
Mathématiques pour applications interdisciplinaires	Cette dernière rubrique comprend les ressources relatives à l'emploi de méthodes mathématiques dans une discipline spécifique non-mathématique (à l'exception de la biologie) telle que la psychologie, l'histoire ou l'économie.	5 % des publications françaises de 2000 à 2015

La recherche française en mathématiques se place au sein des pays qui publient en proportion plus en mathématiques fondamentales, à la différence des pays émergents (au sens du groupe BRICS) qui publient en proportion davantage en mathématiques appliquées.

[57] https://www.hceres.fr/fr/actualites/la-position-scientifique-de-la-france-dans-le-monde-2000-2015

Graphique 17 : Distribution de la production en mathématiques par domaine (2000-2015), en %



Source : HCERES, La position scientifique de la France dans le monde, 2000-2015, 2018

1.5 Les mathématiques encore peu représentées dans les grands programmes de recherche sur appel à projets français et européens

En Europe, la France occupe, avec le Royaume-Uni, la tête des pays qui reçoivent le plus de bourses européennes de l'*European Research Council* (ERC) pour les projets de recherche en mathématiques (PE1) depuis sa création en 2007. En termes de montant des bourses par projet, la France se situe en deçà mais proche de la moyenne des pays de l'ERC (1,3M€ par projet en moyenne) comme le Royaume-Uni, la Suisse ou Israël (1,4M€ par projet). La recherche française en mathématiques connaît du reste un taux élevé de conversion des projets candidats à l'ERC.

En France, de 2008 à 2019, le nombre total de projets mathématiques financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) a été divisé par deux (passant de 41 à 22) et le financement total de ces projets par plus de deux (passant de 9,4M€ à 3,8M€).

Ce constat conduit à interroger l'adéquation entre la discipline mathématique et le système de financement sur projet.

1.5.1 En Europe, si la France occupe, avec le Royaume-Uni, la tête des pays qui reçoivent le plus de bourses européennes (ERC) pour des projets mathématiques, elle perçoit un montant par projet plus faible que le Royaume-Uni

Créé en 2007, le Conseil européen de la recherche (European Research Council, ERC) constitue un pilier des programmes de recherche FP7 (7e programme-cadre européen) (2007-2013), Horizon 2020 (2014-2020) et Horizon Europe (2021-2027)

Les subventions ERC qu'il finance sont accordées par concours ouvert à des projets de recherche « de rupture » dirigés par des chercheurs qui travaillent en Europe et en Israël.

Depuis la création de l'ERC, la France reçoit le plus grand nombre de projets en mathématiques (domaine PE1 selon la classification de l'ERC) financés par l'ERC[58] avec le Royaume-Uni**,** avec **90 projets** de recherche financés (« Granted »). Cela représente **19 % des projets européens relevant du domaine PE1** et **7 % des projets français**.

Seront considérés ici les projets en bourse individuelle suivants :

- *StG (Starting grants, 2 à 7 ans post PhD)*
- *CoG (Consolidator Grants, 8 à 12 ans post PhD)*
- *AdG (Advanced Grants, chercheurs confirmés)*

Les projets collaboratifs SyB (Synergy Grant), de financement additionnels PoC (Proof-of Concept, et les prix PER (Public Engagement with Research Award) sont exclus de l'analyse car non attribués à des domaines scientifiques comme les mathématiques (PE1).

Entre 2011 et 2020, la part de la France dans les projets PE1 européens (en volume cumulé) reste relativement stable à l'inverse du Royaume-Uni qui suit une forte augmentation et à l'Allemagne en baisse. En effet, la France concentre 19 % des projets PE1 européens contre 19 % en 2011 et 20 % entre 2016. Le Royaume-Uni est ex-aequo avec la France avec 19 % en 2020 et a suivi une forte augmentation en passant de 14 % des projets en 2011 à 17 % en 2016 et 19 % en 2020. Quant à l'Allemagne, elle passe de 16 % en 2011 à 12 % en 2016 et 2020.

*Entre 2007 et 2020, **le nombre de projets français financés fluctue d'année en année** et dépend de plusieurs facteurs : (1) l'enveloppe de financement total de l'ERC par année, (2) la part des projets sciences physiques et ingénierie (domaine PE de la classification ERC dont le domaine PE1 est un sous-domaine) et des mathématiques (PE1) allouée par l'ERC, (3) la pertinence des projets mathématiques français par rapport aux autres projets européens.*

Pour limiter les effets de « pic », il est préférable d'établir une base comparative de plusieurs années. Il a été choisi de retenir des périodes de 4 ans (2011-2015 et 2016-2020) et de comparer les volumes « cumulés ».

Entre 2011 et 2020, la part des projets PE1 (en volume cumulé) dans les projets français diminue relativement en passant de 9 % en 2011 à 8 % en 2016 et 7 % en 2020. En France, la part des projets PE1 dans les projets PE diminue encore plus fortement en passant de 17 % en 2011 à 15 % en 2016 et 13 % en 2020. Cette baisse est limitée par une décroissance plus forte des projets français entre les périodes 2011-2015 et 2016-2020 (-4 %) que pour les projets français PE1 (-3 %). En revanche, sur ces mêmes périodes, le volume des projets PE augmente de l'ordre de 7 %.

En matière de financement, les montants reçus pour les projets ERC français en mathématiques placent la France au deuxième rang des pays participant à l'ERC, en raison notamment d'un déficit de candidatures. Les chercheurs français en mathématiques ont en effet reçu 117M€ de 2007 à 2020, soit 19 % des montants accordés aux projets PE1,

[58] European Research Council, données statistiques – https://erc.europa.eu/projects-figures/statistics

derrière le Royaume-Uni (124M€, soit 20 %) mais devant l'Allemagne[59] (75M€, 11 %), Israël (69M€, 10 %) et la Suisse (52M€, 9 %)[60]. De 2007 à 2020, la part des montants reçus par des projets PE1 en France représente 10 % de l'ensemble des projets scientifiques (PE) (soit davantage que la moyenne des pays à 8 %) et 4 % de l'ensemble des projets ERC français (contre 3 % pour les autres pays). Sur la période 2007-2020, la France obtient en moyenne près 1,3M€ par projet, la moyenne des pays de l'ERC étant légèrement supérieur à 1,3M€ dont 1,4M€ par projet pour le Royaume-Uni, 1,4M€ pour la Suisse, 1,4M€ pour Israël et 1,3M€ pour l'Allemagne.

Enfin, s'agissant du succès des candidatures ERC, les projets mathématiques français évalués connaissent un taux de réussite supérieur à ceux des autres pays participants à l'ERC et des autres disciplines françaises. Depuis 2007, 18 % des projets en mathématiques français candidats obtiennent un financement ERC contre 15 % des projets français tous domaines confondus, 13 % des projets européens en mathématiques et 12 % des projets européens.

1.5.2 En France, le nombre et le montant des projets de recherche mathématique financés par l'Agence nationale de la recherche connaissent une baisse significative depuis 2008

L'Agence nationale de la recherche (ANR), créée en 2005, est chargée du financement de projets de recherche publique et partenariale en France.

Les montants par projet de recherche en mathématiques financés par l'ANR[61] sont plus faibles que les bourses individuelles de l'ERC. Entre 2008 et 2016, 271 projets de recherche en mathématiques ont été financés pour un financement total de plus de 60 millions d'euros, soit 223 000 euros par projet en moyenne[62]. Si les taux de succès de la discipline mathématique sont élevés par rapport à la moyenne (25 % contre 16 % en moyenne en 2019[63]), il est à noter qu'en 11 ans, le nombre total de projets ANR mathématiques financés a été divisé par deux (passant de 41 à 22) et le financement total de ces projets par plus de 2 (passant de 9,4 millions d'euros à 3,8 millions d'euros) de 2008 à 2019[64]. Ces évolutions s'expliquent par une baisse des candidatures des projets en mathématiques, dont les raisons demeurent difficiles à identifier (ex. autocensure, différence d'horizons entre la recherche sur projet et la recherche en mathématiques). Du reste, en 2019, la part des projets ANR mathématiques financés représentent 2 % du nombre total de projets ANR financés (contre 28 % pour les sciences de la vie et 12 % pour les sciences numériques)[65].

[59] Si la France couvre l'ensemble du spectre des domaines mathématiques, l'Allemagne n'en couvre qu'une partie, ce qui peut expliquer les montants plus faibles reçus pour ses projets PE1
[60] Il est à souligner qu'en termes de montants PE1 financés rapportés à leur population, Israël et la Suisse occupent très largement la 1e et la 2e places – la France et le Royaume-Uni occupent la 8e et 7e places
[61] Agence nationale de la recherche, Résultats de l'appel à projets générique (AAPG) – https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/publication-des-resultats-definitifs-de-laapg-2020-1-229-projets-de-recherche-selectionnes/
[62] Conseil scientifique de l'INSMI, Rapport de prospective (Mandat 2014-2018), 2018 – https://csi.math.cnrs.fr/rapports/prospective2018.pdf
[63] ANR, Résultats de l'appel à projets générique (AAPG) 2019 – https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/resultats-de-lappel-a-projets-generique-2019-1157-projets-de-recherche-finances/
[64] *Ibid.*
[65] *Ibid.*

1.5.3 Dès lors, la question de l'adéquation entre la discipline mathématique et le système de financement sur projet actuel se pose

Constatant la place qu'occupent les mathématiques au sein des projets français et européens, l'adéquation entre la discipline et le système de financement sur projet mérite débat. Actuellement, les appels à projet conviendraient davantage aux sciences plus applicatives telles que l'informatique et la biologie.

Cette hypothèse peut néanmoins être nuancée. Aux Etats-Unis, le système de financement de la recherche le plus répandu est le financement sur contrats, ancré dans la culture scientifique. La division des sciences mathématiques (*Division of mathematical sciences*, DMS) de la *National science foundation* (NSF) flèche directement des programmes et des opportunités de financement vers les mathématiques. Ainsi, de 2008 à 2016, près de 6 000 projets individuels de recherche en mathématiques ont été financés[66] (contre près de 320 projets individuels ERC en Europe sur la même période[67]). Cette question pourra faire l'objet d'un approfondissement à l'occasion de la préparation des Assises des Mathématiques.

2. Des évolutions contrastées dans les enseignements secondaire et supérieur

L'impact économique des mathématiques présuppose la formation de compétences et d'esprits capables de les assimiler et de les appliquer dans le monde économique comme dans la recherche.

2.1 La baisse du niveau général des élèves français en mathématiques

S'il existe une relation positive entre croissance économique et la réussite scolaire des élèves en mathématiques, la baisse du niveau général des élèves en mathématiques dans l'enseignement primaire (CM1) et secondaire (4e) en France recensé dans différentes études (PISA, Timss) suit une tendance de long terme. L'enquête menée par la DEPP en France confirme cette tendance depuis 1987 et souligne que cette baisse affecte l'ensemble des élèves (CM2) toutes origines sociales confondues.

La littérature économique, notamment l'étude de référence de E. Hanushek et L. Woessmann (2008)[68], a mis au jour une relation entre la réussite des élèves aux tests mathématiques mondiaux et la croissance économique. Or, il est constaté, en France, une diminution du volume d'élèves du secondaire formés en mathématiques et un niveau général qui diminue.

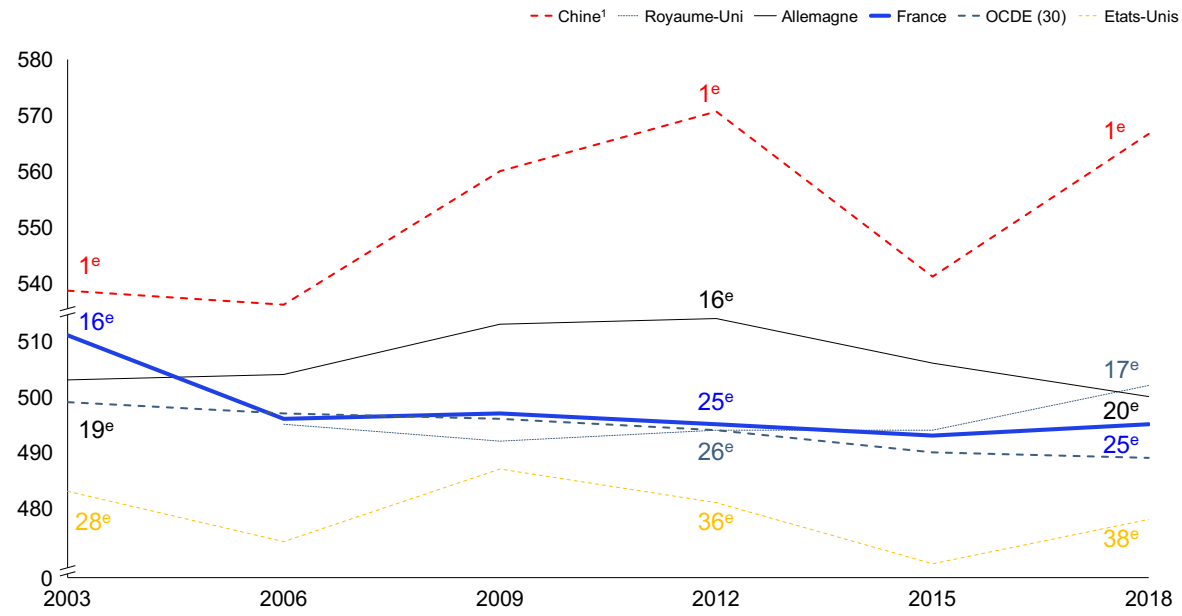
[66] National science foundation (data.gov), NSF Funding Rate History Web API
[67] European Research Council, données statistiques – https://erc.europa.eu/projects-figures/statistics
[68] Hanushek et Woessmann, "The Role of Cognitive Skills in Economic Development", *Journal of Economic Literature*, 2008

2.1.1 Le niveau général en mathématiques des élèves en France recensé dans les études internationales PISA et Timss est faible et en baisse

Plusieurs études récentes recensent la baisse progressive du niveau général des élèves français en mathématiques comme les études internationales *Programme for International Student Assessment* (PISA)[69] et *Trends in International Mathematics and Science Study* (Timss)[70].

D'après le classement **PISA**, **le niveau des élèves français de 15 ans en mathématiques diminue de 4 % entre 2000 et 2018** avec score passant de 517 à 495. Sur cette même période, la France passe de la 11e place sur 41 (top 25 %) à la 26e place sur 79 (top 33 %) :

Graphique 18 : Scores de l'étude PISA par pays entre 2003 et 2018



1. Classement du premier ensemble. Score moyen entre HK et Macao en 2003 et 2006, HK, Macao et Shanghai en 2009 et 2012, HK, Macao, Pékin, Shanghai, Jiangsu et Guangdong en 2015, HK, Macao, Pékin, Shanghai, Jiangsu et Zhejiang en 2018

Source : OCDE, Résultats du PISA 2018, Savoirs et savoir-faire des élèves

En 2018, en mathématiques, les élèves français se situent légèrement au-dessus de la moyenne des élèves des pays de l'OCDE (1 %), laquelle atteint 489 points. La performance des élèves français est comparable mais inférieure aux élèves des pays voisins comme l'Allemagne (500) et le Royaume-Uni (502), très inférieure aux élèves chinois[71] (591) et supérieure aux élèves américains (478).

[69] Etude internationale qui compare tous les 3 ans les performances des élèves de 15 ans sur leurs « capacités à mobiliser leurs connaissances scolaires et à les utiliser dans des situations proches de la vie quotidienne » (reading literacy, mathematical literacy et scientific literacy)

[70] Enquête internationale qui évalue tous les 4 ans la performance des élèves de CM1 et 4e en mathématiques et en sciences

[71] Classement du premier ensemble. Score moyen entre HK et Macao en 2003 et 2006, HK, Macao et Shanghai en 2009 et 2012, HK, Macao, Pékin, Shanghai, Jiangsu et Guangdong en 2015, HK, Macao, Pékin, Shanghai, Jiangsu et Zhejiang en 2018

D'après l'étude **Timss,** réalisée en 2019, le **niveau en mathématiques des élèves français de CM1 et de 4e** est **inférieur à la moyenne de l'Union européenne (la France se classe avant-dernière des pays de l'UE listés dans l'étude) et des pays de l'OCDE**.

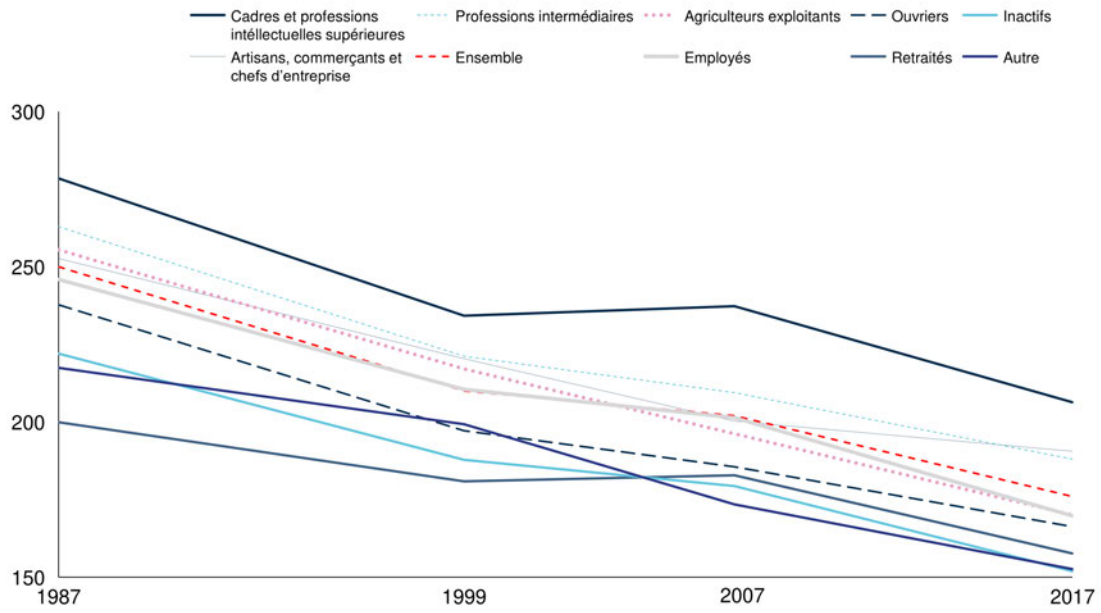
Dans cette même étude, avec un score de 485 points pour les élèves de CM1, la France se situe sous la moyenne de l'UE laquelle atteint 527 points (-8 %). En particulier, les élèves de CM1 présentent des points faibles en algèbre et en « nombres et calculs ».

Les élèves de 4e obtiennent un score de 483 contre une moyenne de l'UE et de l'OCDE de 511 points (-5 %). Depuis 1995, le score moyen de la France en mathématiques en classe de 4e est en baisse de 47 points (-9 %) par rapport à 2019.

2.1.2 Une enquête de la DEPP confirme les tendances décrites par les études internationales relatives à la baisse du niveau général des élèves français toutes origines sociales confondues.

L'enquête de la DEPP[72] note que la performance des élèves sur le calcul en fin de CM2 est en baisse depuis 1987, toutes professions et catégories socioprofessionnelle (PCS) des parents confondues (*cf. graphique* 19). Le score moyen des élèves en fin de CM2 passe de 250 en 1987 à 176 en 2017 (-30 %).

Graphique 19 : Scores moyens en fin de CM2 selon la profession et catégorie socioprofessionnelle (PCS) du « chef de famille »



Source : Direction de l'évaluation de la prospective et de la performance, en charge de l'enquête sur l'évolution des performances en calcul des élèves de CM2 à trente ans d'intervalle (1987-2017)

[72] Direction de l'évaluation de la prospective et de la performance, en charge de l'enquête sur l'évolution des performances en calcul des élèves de CM2 à trente ans d'intervalle (1987-2017)

Aussi, la DEPP souligne un creusement des écarts en mathématiques entre les élèves éprouvant des difficultés, en retard scolaire, et les autres élèves, en raison notamment du manque de recours au redoublement. L'écart de scores entre les élèves en retard et les autres élèves est passé de 36 en 1987 (44 en 1997 et 2007) à 54 en 2017, soit une hausse de 50 % en 40 ans.

L'enquête montre néanmoins que l'écart de performance entre les filles et les garçons a tendance à diminuer avec 3 points d'écart en 2017 contre 9 en 2007. Ainsi, la baisse de niveau affecte moins les filles que les garçons.

2.2 La recomposition des effectifs d'élèves formés aux mathématiques au lycée en raison de la réforme du lycée général et technologique

La réforme du lycée général et technologique (*cf. annexe* 5) a récemment recomposé les effectifs d'élèves formés en mathématiques au lycée général et technologique. Le nombre d'élèves de terminale générale qui suivent des cours de mathématiques est passé de 87 % en 2018 à 59 % en 2020, et le nombre total d'heures de mathématiques en première et terminale générales et technologiques a diminué de 18 %. Toutefois, les élèves formés en mathématiques apparaissent s'orienter davantage vers des formations scientifiques après la réforme (+5 points entre 2018 et 2021).

2.2.1 Le nombre d'élèves de terminale générale qui suivent des cours de mathématiques a diminué de près de 30 points entre 2018 et 2020

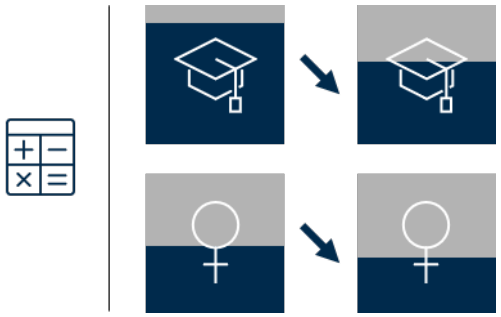
Selon les données de la DEPP[73], s'agissant des effectifs de terminale générale, à la rentrée 2018, 87 % des élèves de terminale générale suivaient un cours de mathématiques d'au moins 4 heures par semaine[74]. En 2020, après la mise en place de la réforme, 59 % des élèves de terminale suivent un cours de mathématiques d'au moins 3 heures. De plus, en 2018, 51 % des élèves de terminale générale étaient en filière scientifique, – dont 11 % des élèves en spécialité mathématiques – alors qu'ils sont 42 % à avoir choisi une doublette comportant des mathématiques en 2020 – dont 14 % avec l'option « mathématiques expertes ». Cette baisse affecte également les filles : si elles représentaient 47 % des effectifs de terminale scientifique en 2018 (pré-réforme), elles représentent 42 % des élèves ayant choisi la spécialité *mathématiques* en terminale en 2020. Les filles sont plus encore minoritaires si on considère l'option mathématiques expertes en terminale où elles représentent 33 % des effectifs en 2020[75]. Aussi, selon le rapport[76] du comité de consultation sur l'enseignement des mathématiques au lycée général, la spécialité mathématiques accueille une part d'élèves issus des catégories populaires inférieure à ce que ceux-ci représentent en classe de première.

[73] DEPP, Repères et références statistiques, éditions 2021 et 2019

[74] Sont comptabilisés les élèves des séries scientifique (S) et économique et sociale (ES) ainsi que les élèves de série littéraire (L) suivant l'option mathématiques (9 % d'entre eux)

[75] Comité de consultation sur l'enseignement des mathématiques au lycée général, La place des mathématiques dans la voie générale du lycée d'enseignement général et technologique, 2022

[76] *Ibid.*



En 2020, 59 % des élèves de terminale générale suivent un cours de mathématiques contre 87 % en 2018

La part des filles en spécialité mathématiques est de 42 % en terminale en 2020 alors qu'elles représentaient 47 % des effectifs de terminale scientifique en 2018

Si le contenu des cours en mathématiques est considéré comme plus riche (ex. nombre d'heures hebdomadaires, difficulté relevée), le nombre total d'heures enseignées en mathématiques a également diminué à la suite de la réforme selon la DEPP[77]. De 2018 à 2020, le nombre total d'heures de mathématiques en première et terminale générales et technologiques a diminué de 18 %.

Il faut toutefois souligner, à la suite des annonces politiques en ce sens, que les mathématiques réintègrent les matières du tronc commun suivies par les lycéens à la rentrée 2022.

2.2.2 Néanmoins, les élèves formés en mathématiques apparaissent s'orienter davantage vers des formations scientifiques après la réforme

Selon l'Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche (IGESR)[78], les élèves formés en mathématiques s'orientent davantage vers les formations scientifiques. A titre d'exemple, selon le comité de consultation sur l'enseignement des mathématiques au lycée général, si 56 % des élèves de terminale scientifique avec la spécialité mathématiques s'orientaient en formation scientifique dans le supérieur en 2020, 80 % (31 000) des élèves ayant choisi la doublette « mathématiques et physique-chimie » et l'option mathématiques expertes poursuivent dans une formation scientifique en 2021.

2.3 Une hausse des effectifs d'étudiants formés en mathématiques dans l'enseignement supérieur

En 2020, sont recensés près de 915 000 étudiants (soit 32 % des étudiants dans le supérieur) en formation scientifique dans l'enseignement supérieur, dont 330 000 suivant une formation mathématique (cycle ingénieur, CPGE scientifique, DUT scientifique et formations universitaires en mathématiques). Les effectifs des étudiants formés en mathématiques croissent de 3 % par an contre 2 % pour l'ensemble des étudiants du supérieur de 2012 à 2020. En particulier, le nombre d'étudiants en licence, en master ou en doctorat de mathématiques, lesquels se concentrent pour plus d'un tiers dans des établissements et universités d'Île-de-France, a augmenté de 6 % par an depuis 2012 pour atteindre 40 000 étudiants en 2020.

[77] DEPP, Note d'information : Les effets des choix des élèves en lycée général et technologique sur les services des enseignants, 2021

[78] Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche, Analyse des vœux et affectations dans l'enseignement supérieur des bacheliers 2021 après la réforme du lycée général et technologique, 2022

2.3.1 L'enseignement supérieur connaît une hausse des effectifs des étudiants qui suivent une formation scientifique

A la rentrée 2020, selon les données de la DEPP[79], on recense 2,8 millions inscriptions d'étudiants dans l'enseignement supérieur dont 915 000, soit 32 %, en formation scientifique, laquelle s'appuie sur les mathématiques, et dont 330 000, soit 12 %, en formation mathématique.

Les effectifs scientifiques se répartissent au sein des formations universitaires (59 % dont 24 % dans les filières de santé), des écoles d'ingénieurs (19 %), des sections de techniciens supérieurs (STS) (10 %), des diplômes universitaires de technologie[80] (DUT) scientifiques (6 %) ou en classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) scientifiques (6 %).

Au sein de ces filières scientifiques, les cycles ingénieurs, les DUT, les CPGE scientifiques et les formations universitaires en mathématiques proposent un enseignement approfondi en mathématiques :

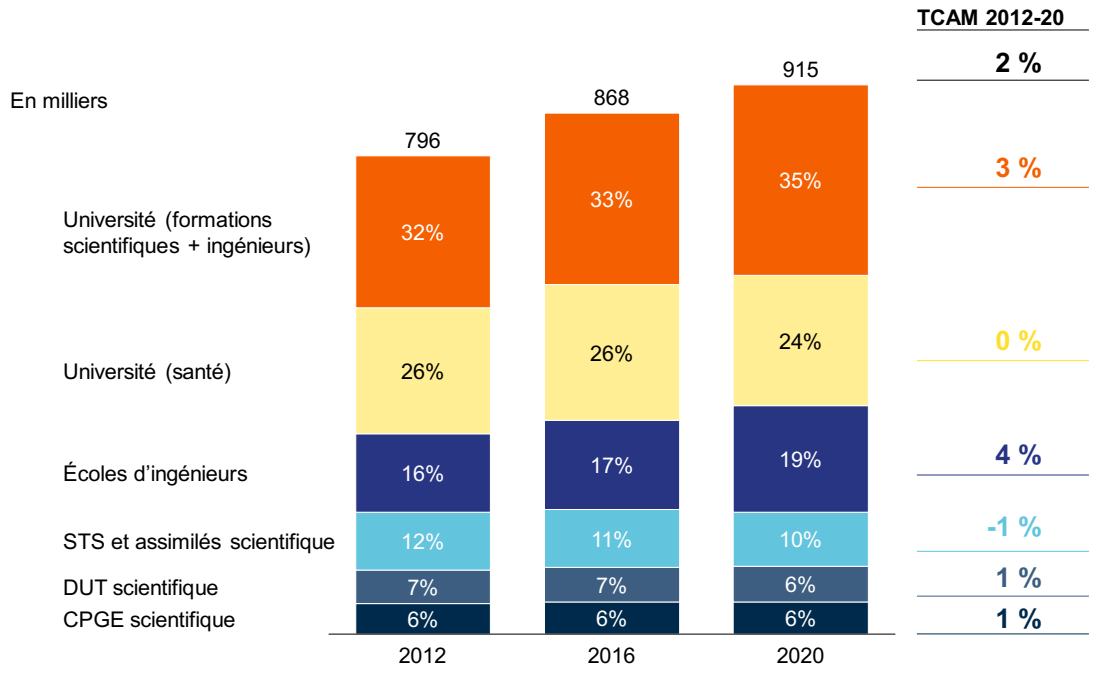
- Cycles ingénieurs (soit 54 % des effectifs étudiants en filières scientifiques)
- DUT scientifiques (18 %)
- CPGE scientifique (16 %)
- Formations universitaires hors DUT : licence, master, doctorat de mathématiques (12 %)

De 2012 à 2020, le nombre d'étudiants formés en mathématiques croît plus rapidement que l'ensemble des étudiants dans le supérieur, à un rythme de 3 % par année contre 2 %. En particulier, les effectifs d'étudiants en mathématiques à l'université et en écoles d'ingénieur connaissent les croissances les plus rapides à 6 % et 4 % par année depuis 2012.

[79] DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

[80] Depuis la rentrée 2021, le DUT est remplacé par le bachelor universitaire de technologie (BUT), diplôme de niveau bac+2

Graphique 20 : Effectifs des étudiants en formation scientifique de 2012 à 2020



Source : DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

Enfin, selon la DEPP[81], en 2020 la part des étudiants étrangers en mobilité internationale atteint 15 % des effectifs scientifiques universitaires en 2020 (soit 67 000 étudiants étrangers) soit une proportion supérieure à celle obtenue parmi l'ensemble des formations en France (11 %).

2.3.2 Les effectifs des étudiants en mathématiques en licence, master ou doctorat connaissent une croissance significative depuis 2012 et sont concentrés dans les formations d'Île-de-France

Au sein des universités, les effectifs en mathématiques représentent 40 000 étudiants en 2020, soit 2 % des universitaires, répartis entre trois secteurs disciplinaires (mathématiques, mathématiques appliquées et sciences sociales – MASS – et mathématique et informatique) et trois cycles. Les effectifs en mathématiques ont suivi une forte croissance depuis 2012, de l'ordre de 6 % par an depuis 2012 versus 3 % pour les effectifs universitaires totaux[82].

Parmi les trois secteurs disciplinaires, les mathématiques sont de loin le cursus le plus représentatif avec 70 % des étudiants (28 000 étudiants), devant MASS avec 17 % (7 000 étudiants), et mathématique et informatique avec 13 % (5 000 étudiants). En termes de croissance, le cursus MASS est le plus dynamique (+7 % par an entre 2012 et 2020) devant les cursus mathématiques et informatiques (+6 % par an) et les mathématiques (+5 % par an).

Les effectifs en mathématiques sont majoritairement concentrés au sein des cursus licence-master-doctorat (85 %) et répartis entre les licences (70 % des effectifs LMD), les masters (25 %) et les doctorats (5 %). La croissance des effectifs en mathématiques touche

[81] DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

[82] MESRI, Tableau de bord de l'enseignement supérieur (hors doubles inscriptions CPGE), février 2022

principalement les licences (+6 % par an), les masters (+5 %) et les doctorats (+3 %) suivant une croissance en deçà de la moyenne des étudiants en mathématiques.

En 2020-2021, les effectifs étudiants en mathématiques sont relativement concentrés autour de 3 régions représentant ~50 % des effectifs, et 7 régions représentant ~80 % :

- La région Île-de-France concentre 36 % (vs. 30% en 2015-2016) des effectifs étudiants en mathématiques (alors qu'elle concentre 25 % des étudiants en France en 2020-2021 et 18 % de la population française en 2020[83]), et notamment des cursus réputés pour leur excellence académique des écoles d'ingénieur, des Ecoles Normales Supérieures et des Universités, et figure parmi les premiers pôles d'étudiants en mathématiques dans le monde.
- En dehors de l'Ile-de-France, les grands pôles régionaux sont l'Auvergne-Rhône-Alpes, concentrant 11 % (vs. 13 % en 2015-2016) des effectifs en mathématiques et l'Occitanie représentant 8 % (vs. 7 % en 2015-2016).
- Les autres régions représentant 30 % sont : les Hauts-de France (8 % en 2020-2021 ; 11 % en 2015-2016), la Nouvelle Aquitaine (6 % en 2020-2021 ; 6 % en 2015-2016), Provence-Alpes-Côte d'Azur (6 % en 2020-2021 et en 2015-2016) et la Bretagne (5 % en 2020-2021 et en 2015-2016).

A l'aide des données statistiques de l'INSEE[84] et du MESRI[85], un quotient d'attirance des étudiants en mathématiques peut être calculé par région en 2020. Il est égal au quotient entre : (i) le nombre d'étudiants en mathématiques de la région (licence, master ou doctorat en mathématiques) divisé par le nombre d'étudiants mathématiques en France et (ii) la population de la région considérée divisée par la population française. La région est considérée comme attirante pour les étudiants en mathématiques si ce quotient est strictement supérieur à 1.

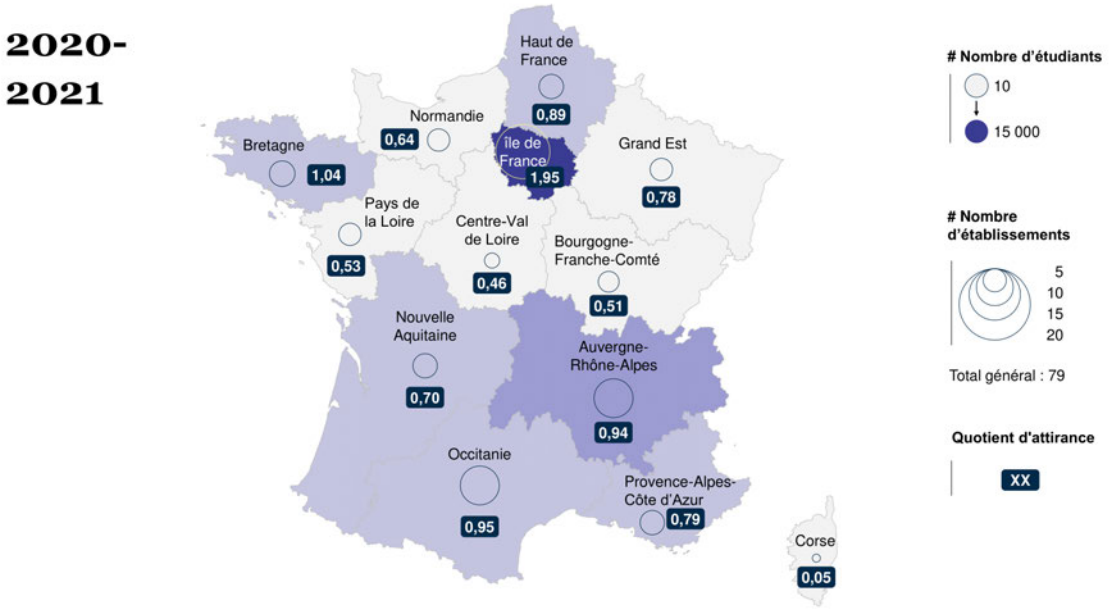
En France métropolitaine, seuls l'Île-de-France (1,95) – avec 15 établissements du supérieur accueillant des étudiants en mathématiques en 2020 – et la Bretagne (1,04) – avec 6 établissements du supérieur – sont considérées comme attirantes pour les étudiants en mathématiques. Les régions Auvergne-Rhône-Alpes (0,94), des Hauts-de-France (0,89) et Occitanie (0,95) ont néanmoins des quotients proches de 1 (*cf. graphique* 21).

[83] Données INSEE au 1er janvier 2020 en France (y c. Mayotte)

[84] INSEE, Tableaux de l'économie française, Édition 2020

[85] MESRI, Tableau de bord de l'enseignement supérieur (hors doubles inscriptions CPGE), février 2022

Graphique 21 : Effectifs étudiants et universités du secteur disciplinaire mathématiques tous cycles confondus, en France métropolitaine, 2020-2021



Source : Open data MESRI, Effectifs d'étudiants inscrits dans les établissements publics sous tutelle du ministère en charge de l'Enseignement supérieur, 2020-2021 et INSEE, Tableaux de l'économie française, Édition 2020

2.4 Une meilleure insertion des diplômés du supérieur formés en mathématiques

Le taux d'insertion professionnelle pour les diplômés du supérieur formés en mathématiques (docteurs, masters et ingénieurs) est supérieur à la moyenne. Les diplômés de masters scientifiques, et notamment en mathématiques, connaissent des taux d'insertion professionnelle élevés. Les docteurs en mathématiques s'orientent davantage vers le secteur public académique (71 % des docteurs diplômés en 2014). Outre leur taux d'insertion élevé, les diplômés des écoles d'ingénieur poursuivent leurs carrières dans des secteurs divers en forte croissance (ex. les sociétés d'ingénierie, les industries de transport, l'enseignement et la recherche, le BTP et la construction, les services informatiques).

2.4.1 Les diplômés de masters scientifiques, et notamment en mathématiques, connaissent des taux d'insertion professionnelle élevés

En 2017, 30 mois après la diplomation, 93 % des diplômés en master scientifique ont trouvé un emploi contre 96 % pour les masters liés aux mathématiques (mathématiques, MASS et mathématique et informatique)[86] et 92 % pour la moyenne des masters (ex. droit, économie, lettres, langues, sciences humaines)[87]. Il est à noter que le taux d'insertion des masters scientifiques suit une tendance haussière de 2015 à 2017 (+1 point).

[86] MESRI, Données en Open Source – Insertion professionnelle des diplômés de master en universités et établissements assimilés - données nationales par disciplines détaillées

[87] MESRI, l'état de l'Emploi scientifique en France, 2020

Parmi les diplômés d'un master scientifique, plus de 10 % ont poursuivi leurs études en thèse en 2017[88]. Cette part connaît une diminution depuis les années 2000 (-30 points depuis 2006), mais reste supérieure à la moyenne des masters (4 % en 2017).

2.4.2 Les docteurs en mathématiques connaissent également un taux d'insertion élevé et s'orientent davantage vers les secteurs public et académique

Selon l'enquête IPdoc du MESRI[89], en 2017, les docteurs en « mathématiques et leurs interactions » connaissent le meilleur taux d'insertion après l'obtention de leur doctorat parmi l'ensemble des disciplines de recherche.

- Un an après la diplomation, 92 % des docteurs en mathématiques ont trouvé un emploi contre 85 % en moyenne pour les autres disciplines[90].
- Trois ans après la diplomation, en 2017, 94 % des docteurs en mathématiques ont trouvé un emploi contre 91 % en moyenne pour les autres disciplines et 95 % pour les docteurs en mathématiques en 2015.

En matière d'orientation, en 2017, les titulaires d'un doctorat en mathématiques travaillent majoritairement dans le secteur public (71 %) et plus précisément dans le secteur académique[91] (58 %). Parmi les 30 % travaillant dans le privé, la moitié travaille dans la recherche et développement (16 %). D'après le MESRI, si la part des docteurs en mathématiques qui s'orientent vers le secteur académique est supérieure à la moyenne des docteurs (58 % vs. 49 % en moyenne), elle diminue néanmoins depuis 2015 (-4 points entre 2015 et 2017).

Les docteurs en mathématiques, trois ans après leur diplomation, en 2017, ont le plus souvent le statut de cadre (94 % des docteurs diplômés en 2014 et en emploi en 2017) et obtiennent des rémunérations élevées avec un salaire mensuel net médian de 2 490€ contre une moyenne des docteurs à 2 375€.

Toujours selon l'enquête IPdoc du MESRI, en 2017, 18 % des docteurs en mathématiques de nationalité française travaillent à l'étranger trois ans après l'obtention de leur doctorat de mathématiques en France. S'agissant des doctorants en mathématiques de nationalité étrangère, 55 % d'entre eux travaillent à l'étranger trois ans après leur doctorat.

Selon les données de l'enquête menée par l'AMIES[92] en 2018 sur les docteurs en mathématiques en emploi dans une entreprise un an après leur doctorat, plus de 50 % d'entre eux ont obtenu leur thèse dans les domaines de l'analyse numérique et du calcul scientifique (19 %), des statistiques (18 %) et des probabilités et modèles stochastiques (17 %) alors que ces domaines représentaient 32 % des domaines de recherche des docteurs en 2017. A l'inverse, si près de 14 % des docteurs de 2017 ont pour domaine de recherche les équations et dérivées partielles, ils représentent moins de 5 % des docteurs en mathématiques en entreprise en 2018.

[88] *Ibid.* page 51

[89] MESRI-SIES, Enquête IPdoc 2017

[90] DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

[91] Secteur académique : établissements d'enseignement supérieur et de recherche, organismes et instituts de recherche, publics ou privés

[92] AMIES, Enquêtes sur la poursuite de carrière des docteur-e-s récemment diplômé-e-s en mathématiques en 2017, 2018

2.4.3 Les diplômés des écoles d'ingénieur ont un taux d'insertion professionnelle élevé et poursuivent leurs carrières dans des secteurs divers

Enfin, selon la Société des Ingénieurs et scientifiques de France (IESF)[93], les diplômés en 2018 des écoles d'ingénieur, connaissent un taux d'insertion de 95 % un an après l'obtention de leur diplôme. Selon l'enquête IESF[3] réalisée les années précédentes, le taux d'insertion moyen des ingénieurs diplômés des promotions de 2013 à 2017 est de 94 %.

En matière d'orientation, 12 % des diplômés en 2018 poursuivent leurs études et 9 % en doctorat (salariés). Par comparaison, 15 % des ingénieurs diplômés en 2015 ont poursuivi leurs études et 7 % ont été en thèse (doctorants salariés) un an après l'obtention de leur diplôme[94].

En matière de recrutements, 130 000 ingénieurs ont été recrutés en 2019, 27 000 étaient des nouveaux diplômés (~20%). Parmi ces recrutements, plus de 50 % ont réalisés au sein de six secteurs d'activité, soit 70 000 ingénieurs (*cf. graphique* 22).

Les ingénieurs diplômés en 2018 ont le plus souvent le statut de cadre (88 % des ingénieurs diplômés et en emploi en 2019) et obtiennent des rémunérations élevées avec un revenu brut annuel médian de 36 500 euros par an. Pour rappel, d'après l'INSEE, en 2019 le revenu médian des salariés bac+3 ou plus en France est de 31 500 euros. Leurs revenus connaissent également une hausse (+1 % en un an pour le revenu médian des diplômés de 2017 et 2018).

En matière de croissance, d'après l'IESF[95], six secteurs connaissent un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 6 % entre 2016 et 2019, et sept secteurs comptent pour près d'un tiers de la croissance :

- Les sociétés d'ingénierie (12 % de la croissance et 7 % de TCAM)
- Les industries de transport (11 % de la croissance et 7 % de TCAM), notamment l'aéronautique (11 % de la croissance et 17 % de TCAM)
- L'enseignement et la recherche (10 % de la croissance et 12 % de TCAM)
- Le conseil, logiciel et services informatiques (9 % de la croissance et 4 % de TCAM)
- La construction, BTP (9 % de la croissance et 7 % de TCAM)
- Les machines, armements (7 % de la croissance et 12 % de TCAM)
- L'administration (hors enseignement, recherche ; 4 % de la croissance et 4 % de TCAM)

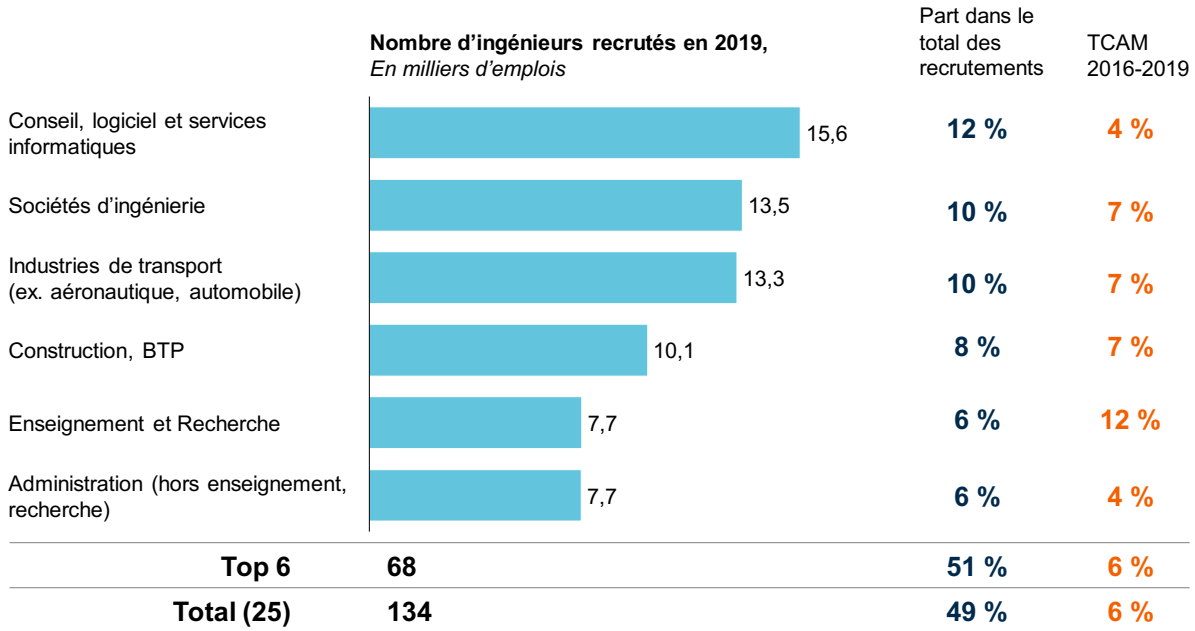
Toutefois, cette répartition a été affectée par les conséquences de la crise sanitaire. Ainsi, de nouvelles tendances de long terme pourraient être observées. Selon l'enquête IESF, en 2020, si les recrutements d'ingénieurs nouveaux diplômés ont augmenté, par rapport à 2019, dans l'industrie pharmaceutique (+131 %), ils ont notamment diminué dans l'aéronautique (-75 %), les industries extractives (-64 %) ou la banque-assurance (-37 %).

[93] Société des Ingénieurs et scientifiques de France (IESF), 32e enquête nationale sur les ingénieurs et scientifiques diplômés en France, 2021

[94] IESF, 27e enquête nationale sur les ingénieurs et scientifiques diplômés en France, 2016

[95] IESF, 29e enquête nationale sur les ingénieurs et scientifiques diplômés en France, 2018

Graphique 22 : Les 6 secteurs qui contribuent à plus de 50 % des recrutements d'ingénieurs en 2019



Source : IESF, 32e enquête nationale sur les ingénieurs et scientifiques diplômés en France, 2021

2.5 Une attrition des effectifs d'enseignants en mathématiques dans l'enseignement primaire et secondaire

L'enseignement des mathématiques dans le secondaire connaît un déficit de candidats depuis 2010, lequel se traduit par des postes non pourvus aux concours externes du Capes et de l'agrégation de mathématiques. Cette évolution pourrait à terme présenter des risques pour la pérennité de l'enseignement des mathématiques.

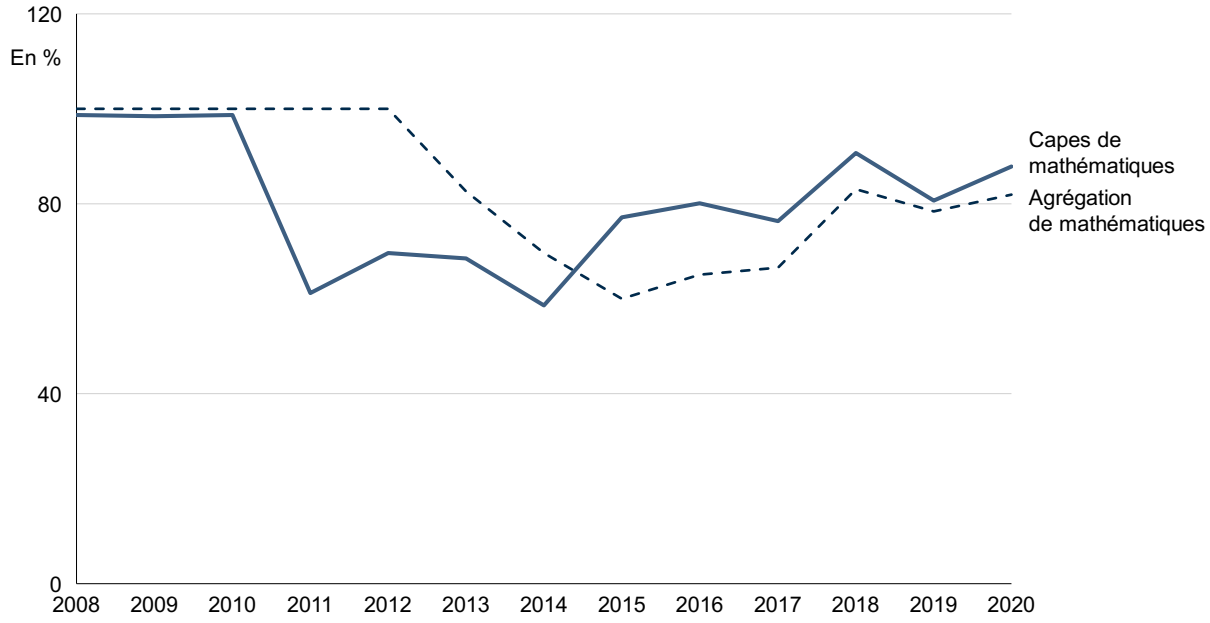
2.5.1 L'enseignement des mathématiques connaît un déficit de candidats alors que le nombre d'étudiants éligibles à se présenter n'a pas baissé

L'attrition et la perte d'attractivité de l'enseignement des mathématiques sur le long terme se traduisent par une baisse du taux de couverture – le rapport entre le nombre d'admis et le nombre de postes – et une augmentation du nombre de postes non pourvus aux concours d'enseignants.

Si à court terme, le taux de couverture des concours d'enseignants en mathématiques se redresse lentement depuis 2014 (*cf. graphique* 23), le nombre de postes non pourvus s'accroît[96]. En 2015, au concours externe du Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré (Capes), 1 440 postes d'enseignants en mathématiques ont été ouverts (20 % de plus qu'en 2020), pour un taux de postes non pourvus de 12 %. En 2020, le nombre de postes ouverts a diminué de 19 % (1 165 postes) et 19 % n'ont pas été pourvus (-7 points par rapport à 2015). Jusqu'en 2010, tous les postes en mathématiques (Capes et agrégation) étaient pourvus, en 2020, ~20% des postes sont non pourvus. Ces difficultés de recrutement pourraient être en partie conséquence de l'accroissement des besoins de compétences mathématiques dans les métiers hors enseignement.

D'après le rapport d'information du Sénat relatif à l'enseignement des mathématiques[97], ces difficultés de recrutement pourraient conduire à une moindre sélectivité des concours, laquelle se traduirait par un taux de réussite aux concours d'enseignants en mathématiques, notamment du Capes, plus élevé que pour d'autres. En 2020, 54 % des candidats au concours externe du Capes en mathématiques étaient admis contre 31 % en 2010 et près de 30 % pour l'ensemble des matières du concours en 2020[98].

Graphique 23 : Evolution du taux de couverture aux concours externes en mathématiques de 2008 à 2020



Source : DEPP, Repères et références statistiques, édition 2021

[96] Rapport d'information du Sénat, G. Longuet, Réagir face à la chute du niveau en mathématiques : pour une revalorisation du métier d'enseignant, 2021

[97] *Ibid.*

[98] Statistiques relatives aux concours du CAPES du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports

2.5.2 Les difficultés de recrutement des professeurs en mathématiques pourraient à terme présenter des risques pour la pérennité de l'enseignement des mathématiques.

Pour mémoire, à la rentrée 2020, les effectifs enseignants en mathématiques dans le second degré (collèges et lycées publics, y c. CPGE et STS) comptaient 45 400 personnes (11 600 pour les établissements privés sous contrat), dont 12 100 en filières générale et technologiques et 24 000 au collège[99]. Ils représentent 16 % des effectifs enseignants (279 400 dans le second degré public), derrière les professeurs de langues et de lettres (20 %).

Si en 2012, dans les lycées généraux et technologiques, un professeur de mathématiques a 70 élèves, le nombre d'élèves par professeur de mathématiques en 2018 atteint près de 96 et 104 en 2020. Cela peut témoigner à la fois d'une hausse plus rapide des effectifs d'élèves par rapport à la population de professeurs de mathématiques en lycée public général et technologique et d'une réduction du nombre d'heures enseignées par classe. Le nombre d'élèves par professeurs de mathématiques en classe de collège public est quant à lui relativement stable sur la période.

Par ailleurs, en 2018, le rapport Villani-Torossian « 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques » a présenté le manque de formation en mathématiques des professeurs des écoles. A ce titre, le journal Le Monde[100] relaie que, dans l'enseignement primaire en 2019, la part des professeurs des écoles issus de formations des filières littéraires ou de sciences humaines de l'enseignement supérieur atteint 80 % en 2019. Une majorité d'enseignants du primaire n'ont ainsi pas suivi de formation en mathématiques dans le supérieur.

Le rapport Filatre[101] sur la formation initiale des professeurs des écoles (2018) confirme lui aussi que si la répartition des profils lors du Bac est assez homogène (près d'1/3 de scientifiques), on observe en revanche que peu de candidats au CRPE viennent d'une filière sciences (13%).

A la suite de la remise du rapport Villani-Torossian, un plan mathématiques a été mis en œuvre, comprenant notamment la formation de tous les professeurs des écoles en constellations, sur un cycle de six ans, grâce au déploiement de plus de 1 600 référents mathématiques de circonscriptions (RMC).

Aussi un plan sciences et technologies à compter de la rentrée scolaire 2022 vise-t-il à déployer une formation continue, « de proximité », en mathématiques auprès des professeurs des écoles, et à proposer un ensemble de ressources pour aider les professeurs dans leur enseignements (ex. sur l'élaboration et la conduite de projets scientifiques et technologiques).

« Nos professeurs des écoles sont à 75 ou 80 % des littéraires de formation. Ils ont eux-mêmes souvent suivi, ou subi, des cours de mathématiques dans un contexte douloureux, ils n'ont pas reçu suffisamment d'entraînement sur les bons réflexes pour enseigner la discipline, bref, ils sont livrés à eux-mêmes. Enseigner les mathématiques, ça s'apprend ! »

Cédric Villani, Franceinfo, Avril 2019

[99] DEPP, Repères et références statistiques, éditions 2013, 2019 et 2021

[100] Le Monde, Mathématiques: les enseignants du primaire trop peu formés, 5 avril 2019

[101] https://www.education.gouv.fr/ameliorer-la-formation-initiale-des-professeurs-des-ecoles-juillet-2018-11663

Conclusions & perspectives

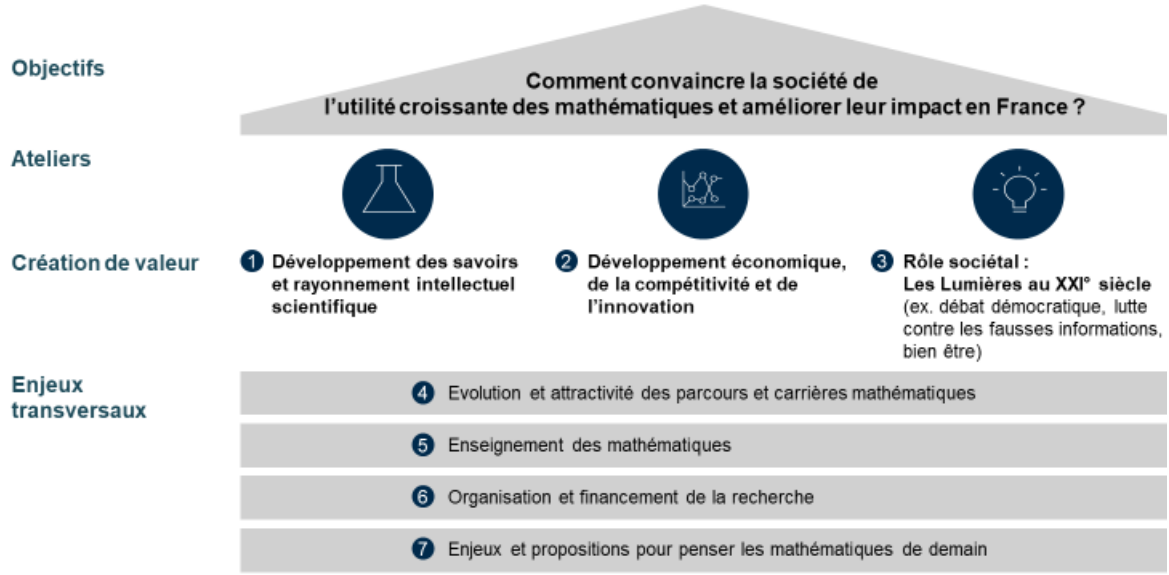
pour relever les défis de demain en s'appuyant sur les mathématiques

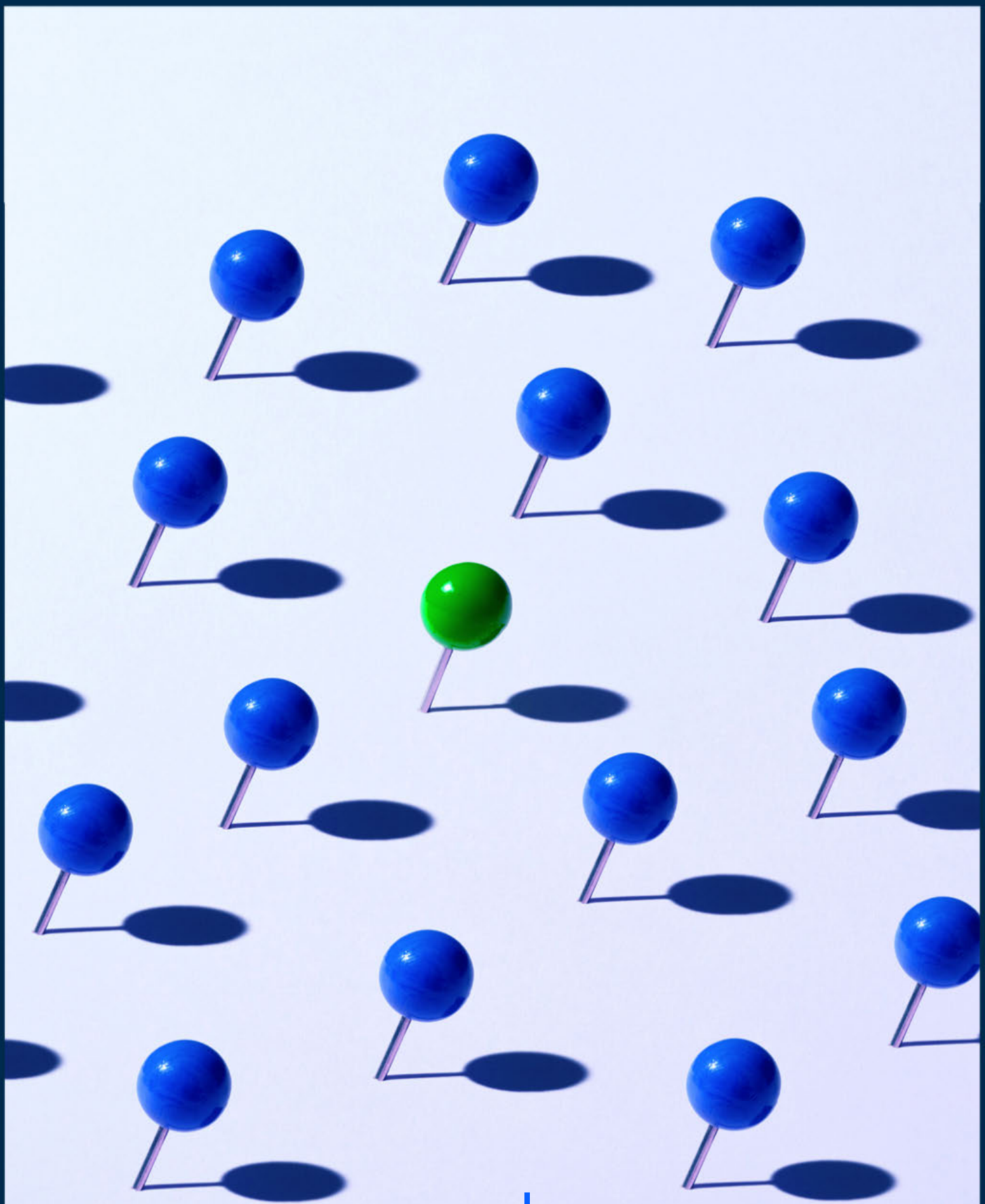
Ce rapport traite principalement l'impact économique des mathématiques en France. 13 % des emplois salariés en France sont liés aux mathématiques, lesquelles contribuent à hauteur de 18 % du PIB français en 2019. Si la France est historiquement un pays de mathématiques, elle ne doit pas seulement se reposer sur cet acquis historique. Outre leur apport à l'économie, les mathématiques ont un rôle à jouer dans la société et dans la formation des citoyens.

Cette étude esquisse plusieurs questions et des pistes de réflexion qui pourront faire l'objet d'un travail approfondi en vue des Assises des Mathématiques. Ces questions, qui demeurent ouvertes, ont trait à l'évolution du paysage de la recherche en mathématiques, en particulier de ses effectifs, à la quantification de l'impact de la recherche en mathématiques, à la place des mathématiques dans les programmes de financement, aux collaborations avec le monde économique, à l'enseignement et la formation des citoyens en mathématiques ou au devenir des docteurs en mathématiques dans les entreprises. Les Assises des Mathématiques, et les groupes de travail en amont, auront pour but de dresser l'état des lieux des mathématiques en France, d'identifier les nouveaux besoins en mathématiques de la recherche à l'enseignement de la discipline et de formuler des propositions visant à y répondre.

Les groupes de travail ont été structurés autour de 7 grands thèmes : (i) le développement des savoirs et rayonnement intellectuel scientifique, (ii) le développement économique, de la compétitivité et de l'innovation, (iii) le rôle sociétal : les Lumières au XXIe siècle, (iv) l'attractivité des carrières en mathématiques, (v) l'enseignement des mathématiques, (vi) l'organisation et financement de la recherche, et (vii) les enjeux et propositions pour penser les mathématiques de demain. La présente étude vise en particulier à fournir des pistes de réflexion au groupe de travail relatif au développement économique (ii).

Les groupes de travail ont été structurés autour de 7 grands thèmes :





ANNEXES

Annexe 1 : Différentes méthodes de calcul de l'impact des mathématiques

Deux méthodes de calcul permettent d'approcher l'impact économique des mathématiques en France

On peut calculer l'impact économique des mathématiques dans l'économie à partir de deux bases :

Les salariés (25 millions de salariés en 2019 parmi 29 millions d'emplois salariés et non-salariés[102])

- Cette approche a été privilégiée par Deloitte dans ses études de 2012 sur le Royaume-Uni et de 2014 sur les Pays-Bas et permet des comparaisons internationales.
- Cette mesure semble davantage correspondre à la réalité économique et salariale de la France car elle est proche des données de la population active française en 2019 (~29 millions).

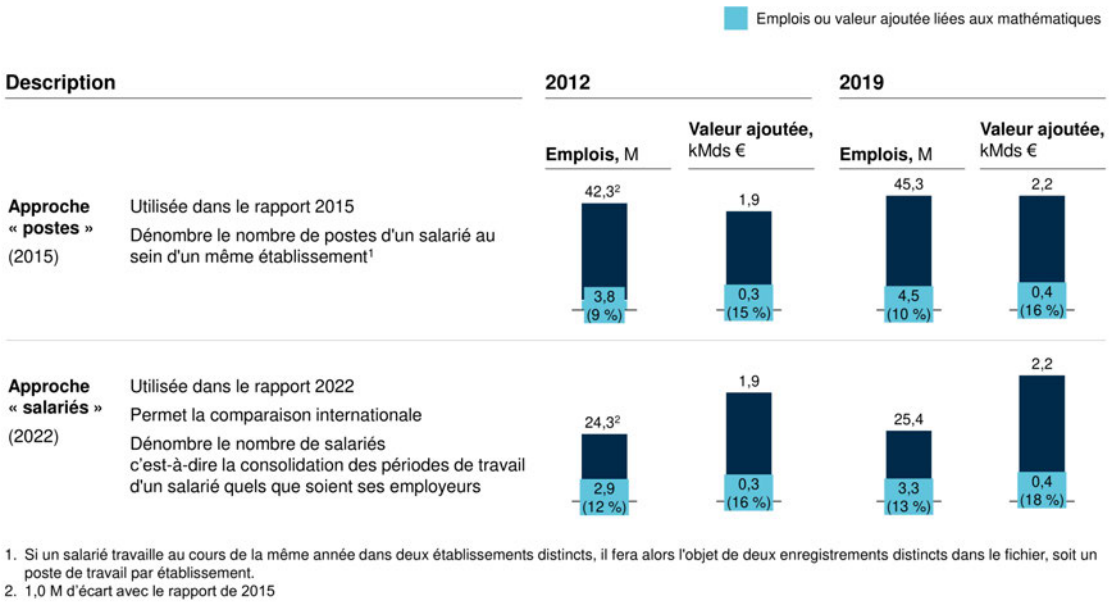
Les postes (~45 millions en 2019)

- Cette approche a été privilégiée par l'étude de l'impact socioéconomique des mathématiques en France de 2015 pour calculer le nombre de postes mathématiques (3,8 millions de postes sur 43,3 millions de postes, 9 %) qui ont ensuite été traduits en nombre d'emplois (9 % de 26,4 millions d'emplois, soit 2,4 millions).
- Dans les données de l'INSEE, un poste correspond au cumul des lignes « salarié » d'un même salarié dans un même établissement (Nir-Siret). Ces lignes correspondent à des périodes d'emploi distinctes (ex. plusieurs emplois saisonniers) ou à des périodes d'emploi identiques (ex. une ligne prime et une ligne salaire). Un salarié ayant travaillé dans deux établissements différents au cours de l'année se retrouve dans deux postes différents. Chaque poste est qualifié en poste non annexe – si on considère qu'il s'agit d'un véritable emploi (ex. rémunération suffisante pour éliminer les lignes « prime ») – ou en poste annexe.

Les résultats des deux approches sont présentés dans le graphique suivant (*graphique* 27).

[102] INSEE : Emploi salarié et non salarié par activité

Graphique 24 : Les deux approches pour calculer l'impact économique des mathématiques



1. Si un salarié travaille au cours de la même année dans deux établissements distincts, il fera alors l'objet de deux enregistrements distincts dans le fichier, soit un poste de travail par établissement.
2. 1,0 M d'écart avec le rapport de 2015

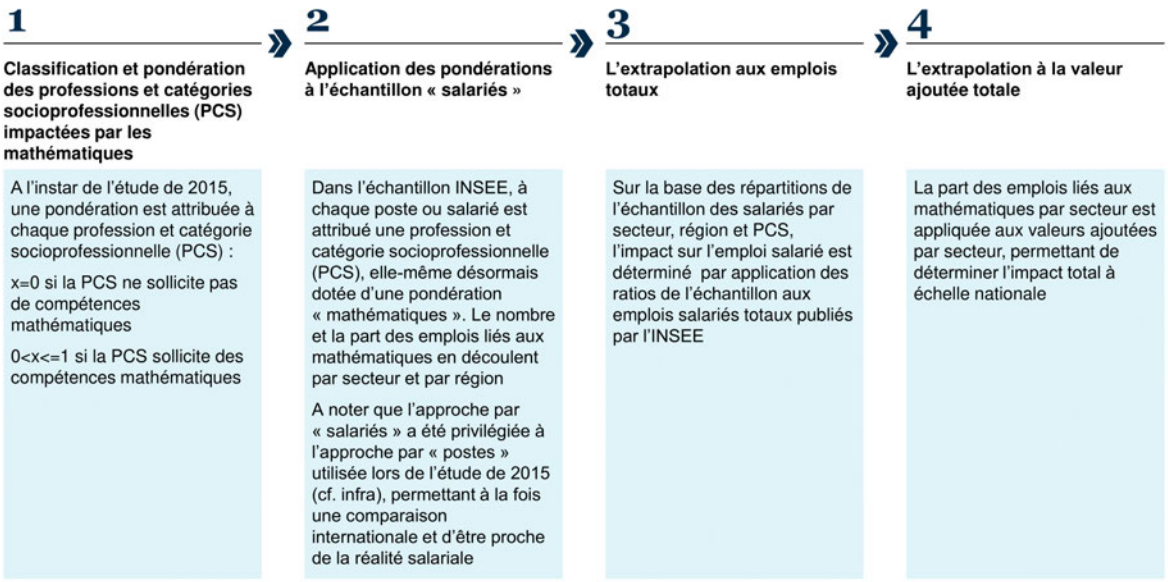
Source : INSEE (Description des emplois salariés en 2019, Description des emplois privés et publics et des salaires en 2012)

Approche

L'approche pour calculer l'impact économique des mathématiques est décomposée en 4 étapes :

1. Classification et pondération des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) impactées par les mathématiques
2. Application des pondérations à l'échantillon « salariés » INSEE[103]
3. L'extrapolation aux emplois totaux
4. L'extrapolation à la valeur ajoutée totale

Méthodologie de l'impact des mathématiques :



[103] https://www.insee.fr/fr/statistiques/5542536

Annexe 2 : Sources de l'analyse de l'impact des mathématiques

Quatre principales sources sont utilisées dans l'analyse d'impact des mathématiques

"Description des emplois salariés" (par année) par l'INSEE permettant une répartition des salariés/postes par profession et catégorie socio-professionnelle (PCS), par secteur (A38) et par région (échantillonnage au 1/12^{e} de la population)

"Emploi salarié et non salarié par activité" (par année) par l'INSEE permettant d'accéder au nombre total de salariés en France

"Les comptes de la Nation" (par année) par l'INSEE permettant une analyse de la valeur ajoutée par secteur (A38)

Pondération des professions et catégories socio-professionnelles impactées par les mathématiques, sur la base de l'étude sur l'impact socio-économique des mathématiques (EISEM) de 2015

A - Introduction à la source "Description des emplois salariés" (par année) par l'INSEE

L'INSEE recense chaque année des données sur un échantillon au 1/12^{e} de salariés du privé et du public, à partir de 3 sources :

Pour le secteur privé, la principale source est la Déclaration sociale nominative (DSN), qui depuis 2016, vient se substituer progressivement aux déclarations annuelles de données sociales (DADS).

Les informations relatives aux trois fonctions publiques proviennent pour leur part du Système d'information sur les agents du service public (Siasp) qui exploite deux sources : les DADS et les fichiers de paie des agents de l'État.

Sur le champ des particuliers employeurs, sont exploitées les déclarations de salaires dans le cadre des dispositifs suivants : chèque emploi service universel (Cesu), prestation d'accueil du jeune enfants (Paje) et déclaration nominative simplifiée (DNS).

Les données reçues et redressées statistiquement sont, in fine, regroupées dans une base couvrant l'ensemble des salariés, appelée « Tous salariés » (anciennement appelée « DADS-grand format »).

Ces données renseignent entre autres, le nombre de salariés et de postes par profession et catégorie socio-professionnelle, par activité (secteur 138), par région.

Pour déterminer l'impact sur l'emploi, une approche par « salariés » a été privilégiée à l'approche par « postes » utilisée lors de l'étude de 2015.

L'approche par « salariés » dénombre les salariés en France, correspondant à la consolidation des périodes de travail d'un salarié quels que soient ses employeurs.

L'approche par « postes » dénombre les postes de travail en France, correspondant à la consolidation des périodes de travail d'un salarié au sein d'un même établissement.

D - Pondération des professions et catégories socio-professionnelles[1]

PCS	Pondération	Catégorie
231a-Chefs de grande entreprise de 500 salariés et plus	25 %	Autres
232a-Chefs de moyenne entreprise, de 50 à 499 salariés	25 %	Autres
233a-Chefs d'entreprise du bâtiment et des travaux publics, de 10 à 49 salariés	25 %	Autres
233b-Chefs d'entreprise de l'industrie ou des transports, de 10 à 49 salariés	25 %	Autres
233c-Chefs d'entreprise commerciale, de 10 à 49 salariés	25 %	Autres
233d-Chefs d'entreprise de services, de 10 à 49 salariés	25 %	Autres
311d-Psychologues, psychanalystes, psychothérapeutes (non médecins)	10 %	Autres
331a-Personnels de direction de la fonction publique (Etat, collectivités locales, hôpitaux)	25 %	Autres
332b-Ingénieurs des collectivités locales et des hôpitaux	5 %	Maths avancées
333d-Cadres administratifs de France Télécom (statut public)	25 %	Autres
333f-Personnel administratif de catégorie A des collectivités locales et hôpitaux publics (hors Enseignement, Patrimoine)	5 %	Autres
343a-Psychologues spécialistes de l'orientation scolaire et professionnelle	10 %	Autres
311c-Chirurgiens-dentistes	10 %	Autres
311e-Vétérinaires	10 %	Autres
341a-Professeurs agrégés et certifiés de l'enseignement secondaire	30 %	Maths avancées
341b-Chefs d'établissement de l'enseignement secondaire et inspecteurs	10 %	Maths avancées
342b-Professeurs et maîtres de conférences	30 %	Maths avancées
342c-Professeurs agrégés et certifiés en fonction dans l'enseignement supérieur	10 %	Maths avancées
342d-Personnel enseignant temporaire de l'enseignement supérieur	10 %	Maths avancées
344a-Médecins hospitaliers sans activité libérale	10 %	Autres
344b-Médecins salariés non hospitaliers	10 %	Autres
344c-Internes en médecine, odontologie et pharmacie	10 %	Autres
344d-Pharmaciens salariés	100 %	Autres
371a-Cadres d'état-major administratifs, financiers, commerciaux des grandes entreprises	10 %	Services financiers
372b-Cadres de l'organisation ou du contrôle des services administratifs et financiers	100 %	Services financiers
373a-Cadres des services financiers ou comptables des grandes entreprises	100 %	Services financiers
373c-Cadres des services financiers ou comptables des petites et moyennes entreprises	100 %	Services financiers
374c-Cadres commerciaux des grandes entreprises (hors commerce de détail)	5 %	Autres
376a-Cadres des marchés financiers	100 %	Services financiers
376b-Cadres des opérations bancaires	100 %	Services financiers
376c-Cadres commerciaux de la banque	100 %	Services financiers
376d-Chefs d'établissements et responsables de l'exploitation bancaire	5 %	Services financiers

1. Cette pondération a été élaborée sur la base de celle de l'étude sur l'impact socio-économique des mathématiques (EISEM) publiée en 2015

PCS	Pondération	Catégorie
376e-Cadres des services techniques des assurances	100 %	Services financiers
380a-Directeurs techniques des grandes entreprises	100 %	Autres
381c-Ingénieurs et cadres de production et d'exploitation de l'agriculture, la pêche, les eaux et forêts	100 %	Maths avancées
382b-Architectes salariés	50 %	Maths avancées
382c-Ingénieurs, cadres de chantier et conducteurs de travaux (cadres) du bâtiment et des travaux publics	100 %	Maths avancées
382d-Ingénieurs et cadres technico-commerciaux en bâtiment, travaux publics	100 %	Maths avancées
383b-Ingénieurs et cadres de fabrication en matériel électrique, électronique	100 %	Maths avancées
383c-Ingénieurs et cadres technico-commerciaux en matériel électrique ou électronique professionnel	100 %	Maths avancées
384b-Ingénieurs et cadres de fabrication en mécanique et travail des métaux	100 %	Maths avancées
384c-Ingénieurs et cadres technico-commerciaux en matériel mécanique professionnel	100 %	Maths avancées
385b-Ingénieurs et cadres de fabrication des industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds)	100 %	Maths avancées
385c-Ingénieurs et cadres technico-commerciaux des industries de transformations (biens intermédiaires)	100 %	Maths avancées
386d-Ingénieurs et cadres de la production et de la distribution d'énergie, eau	100 %	Maths avancées
386e-Ingénieurs et cadres de fabrication des autres industries (imprimerie, matériaux souples, ameublement et bois)	100 %	Maths avancées
387a-Ingénieurs et cadres des achats et approvisionnements industriels	5 %	Maths avancées
387b-Ingénieurs et cadres de la logistique, du planning et de l'ordonnancement	100 %	Maths avancées
387c-Ingénieurs et cadres des méthodes de production	100 %	Maths avancées
387d-Ingénieurs et cadres du contrôle-qualité	100 %	Maths avancées
387e-Ingénieurs et cadres de la maintenance, de l'entretien et des travaux neufs	100 %	Maths avancées
387f-Ingénieurs et cadres techniques de l'environnement	4 %	Maths avancées
388e-Ingénieurs et cadres spécialistes des télécommunications	100 %	Maths avancées
389a-Ingénieurs et cadres techniques de l'exploitation des transports	100 %	Maths avancées
389b-Officiers et cadres navigants techniques et commerciaux de l'aviation civile	100 %	Autres
471b-Techniciens d'exploitation et de contrôle de la production en agriculture, eaux et forêts	100 %	Autres
472c-Métreurs et techniciens divers du bâtiment et des travaux publics	100 %	Autres
472d-Techniciens des travaux publics de l'Etat et des collectivités locales	100 %	Autres
473c-Techniciens de fabrication et de contrôle-qualité en électricité, électromécanique et électronique	100 %	Autres
474c-Techniciens de fabrication et de contrôle-qualité en construction mécanique et travail des métaux	100 %	Autres
475b-Techniciens de production et de contrôle-qualité des industries de transformation	100 %	Autres
476b-Techniciens de l'industrie des matériaux souples, de l'ameublement et du bois	100 %	Autres
477a-Techniciens de la logistique, du planning et de l'ordonnancement	100 %	Autres

PCS	Pondération	Catégorie
477b-Techniciens d'installation et de maintenance des équipements industriels (électriques, électromécaniques, mécaniques, hors informatique)	100 %	Autres
477d-Techniciens de l'environnement et du traitement des pollutions	4 %	Autres
479b-Experts de niveau technicien, techniciens divers	100 %	Autres
485a-Agents de maîtrise et techniciens en production et distribution d'énergie, eau, chauffage	100 %	Autres
543b-Employés qualifiés des services comptables ou financiers	100 %	Services financiers
388a-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en informatique	100 %	Informatique
388b-Ingénieurs et cadres d'administration, maintenance, support et services aux utilisateurs en informatique	100 %	Informatique
388c-Chefs de projets informatiques, responsables informatiques	100 %	Informatique
388d-Ingénieurs et cadres technico-commerciaux en informatique et télécommunications	100 %	Informatique
478a-Techniciens d'étude et de développement en informatique	100 %	Informatique
478b-Techniciens de production, d'exploitation en informatique	100 %	Informatique
478c-Techniciens d'installation, de maintenance, support et services aux utilisateurs en informatique	100 %	Informatique
478d-Techniciens des télécommunications et de l'informatique des réseaux	100 %	Informatique
544a-Employés et opérateurs d'exploitation en informatique	100 %	Informatique
342f-Directeurs et chargés de recherche de la recherche publique	100 %	Maths avancées
342g-Ingénieurs d'étude et de recherche de la recherche publique	100 %	Maths avancées
342h-Allocataires de la recherche publique	100 %	Maths avancées
372a-Cadres chargés d'études économiques, financières, commerciales	100 %	Services financiers
381b-Ingénieurs et cadres d'étude et développement de l'agriculture, la pêche, les eaux et forêts	100 %	Maths avancées
382a-Ingénieurs et cadres d'étude du bâtiment et des travaux publics	100 %	Maths avancées
383a-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en électricité, électronique	100 %	Maths avancées
384a-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en mécanique et travail des métaux	100 %	Maths avancées
385a-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement des industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds	100 %	Maths avancées
386b-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement de la distribution d'énergie, eau	100 %	Maths avancées
386c-Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement des autres industries (imprimerie, matériaux souples, ameublement et bois)	100 %	Maths avancées
471a-Techniciens d'étude et de conseil en agriculture, eaux et forêts	100 %	Maths avancées
473b-Techniciens de recherche-développement et des méthodes de fabrication en électricité, électromécanique et électronique	100 %	Maths avancées
474b-Techniciens de recherche-développement et des méthodes de fabrication en construction mécanique et travail des métaux	100 %	Maths avancées
475a-Techniciens de recherche-développement et des méthodes de production des industries de transformation	100 %	Maths avancées
479a-Techniciens des laboratoires de recherche publique ou de l'enseignement	100 %	Maths avancées

Annexe 3 : Chiffre clés sur les CIFRE

Description

L'État apporte un soutien financier à toute structure socioéconomique qui recrute un doctorant pour lui confier une mission de recherche, laquelle constitue le sujet de sa thèse, pour une durée maximale de trois ans.

Parties prenantes

- L'entreprise confie à un doctorant un travail de recherche, objet de sa thèse.
- Le laboratoire, extérieur à l'entreprise, assure l'encadrement scientifique du doctorant.
- Le doctorant, titulaire d'un diplôme conférant le grade de master.

Objectifs

- Placer les doctorants dans des conditions d'emploi scientifique (70 % des doctorants CIFRE rejoignent ou poursuivent leur carrière professionnelle dans le secteur privé contre moins de 50 % pour l'ensemble des docteurs).
- Favoriser le développement de la recherche partenariale entre le milieu académique et les entreprises.

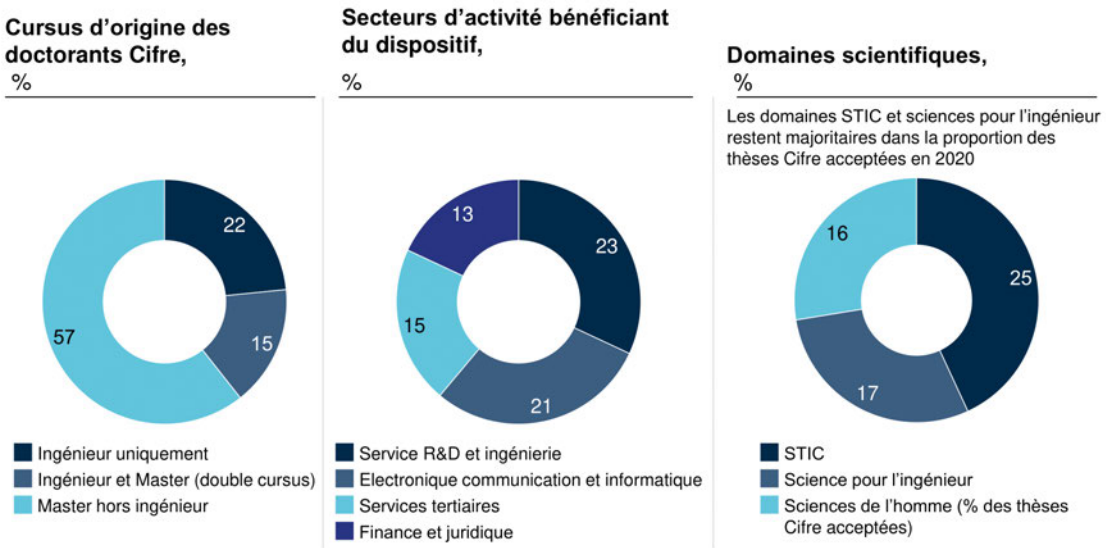
Impact

- **15 %** des inscrits en première année de doctorat en mathématiques ayant obtenu un financement pour leur thèse en 2020 et 2019, soit 5 points de plus qu'en 2018[104].
- **6 %** des CIFRE allouées de 2008 à 2018 correspondaient à des thèses en mathématiques[105].

Ambition

2 150 CIFRE par an en 2027 (contre **1 400** en 2017)[106]

Graphique 25 : Chiffres clés sur les CIFRE



[104] DEPP, Repères et références statistiques, éditions 2021, 2020 et 2019

[105] IPP, rapport n°27, Evaluation des effets du dispositif CIFRE sur les entreprises et les doctorants participants, 2020

[106] MESRI, Les CIFRE, 2021 – https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/les-cifre-46510

Annexe 4 : Méthodologie des classements internationaux des Universités

Si les classements des établissements universitaires, en particulier le classement de Shanghai, bénéficient chaque année d'une importante couverture médiatique, leurs méthodes font régulièrement l'objet de critique en raison de leurs critères restrictifs et peu adaptés à la recherche en mathématiques (ex. le nombre de citations à 5 ans).

Le classement établi par l'université de l'université Jiao Tong depuis 2003, dit « de Shanghai » repose sur 6 critères[107], lesquels sont le nombre de prix Nobel et de médailles Fields parmi les anciens élèves et les enseignants (10 et 20 % de la note), le nombre de professeurs les plus cités dans leur discipline (20 %), le nombre de publications dans les revues scientifiques Science et Nature (20 %), le nombre de publications rattachées à l'établissement et répertoriées dans les index de citations (20 %), score total des cinq premiers indicateurs divisé par la taille du corps professoral (10 %).

D'après le classement QS[108]**,** les universités sont évaluées en fonction de 6 paramètres qui sont la **r**éputation académique (40 % de la note), déterminée à partir d'une enquête auprès de 130 000 acteurs du monde académique, la réputation auprès des employeurs (10 %), le ratio entre le nombre de professeurs et d'étudiants (20 %), le nombre de citations par université sur 5 ans, le ratio de professeurs internationaux (5 %) et le ratio d'étudiants internationaux (5 %).

Le classement Times Higher Education évalue les établissements à partir d'indicateurs de performance regroupés en 5 domaines[109] :

(1) L'enseignement (30 % de la note) : enquête sur la réputation de l'établissement (15 %), ratio personnel/étudiants (4,5 %), ratio doctorants/étudiants en bachelor (2,25 %), rapport entre le nombre de doctorats décernées et le personnel académique (6 %), les revenus institutionnels (2,25 %)

(2) La recherche (30 %) : enquête de réputation (18 %), revenus issus de la recherche (6 %), productivité de la recherche (6 %)

(3) Le volume de citations (30 %) (influence de la recherche)

(4) L'ouverture internationale (7,5 %) : proportion d'étudiants internationaux (2,5 %), proportion de personnel international (2,5 %), collaboration internationale (2,5 %)

(5) Les revenus industriels 2,5% (transfert de connaissances, financement privé)

Le classement Leiden s'appuie sur des indicateurs bibliométriques (impact scientifique, collaboration, accès libre) et différents seuils pour ces derniers[110].

[107] https://www.shanghairanking.com/methodology/arwu/2021
[108] https://www.topuniversities.com/qs-world-university-rankings/methodology
[109] https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/world-university-rankings-2022-methodology
[110] https://www.leidenranking.com/

Annexe 5 : La réforme du lycée général et technologique

La réforme du lycée général et technologique a redéfini l'enseignement des mathématiques en première et terminale générales. Aux séries scientifique (S), économique et sociale (ES) et littéraire (L) se sont substitués des choix de spécialités dont les mathématiques font partie. Les élèves sont amenés à choisir, parmi un ensemble de spécialités, trois spécialités pour leur année de première et à en abandonner une pour leur année de terminale. Les élèves de terminale sont évalués à l'occasion des épreuves du baccalauréat sur ces deux spécialités retenues. La spécialité « mathématique » représente 4 heures de cours en première et 6 heures en terminale par semaine. Par ailleurs, si un élève décide d'abandonner la spécialité mathématiques lors de son passage en terminale, il a la possibilité de choisir l'option « mathématiques complémentaires » de 3 heures par semaine, laquelle sera évaluée lors du contrôle continu au cours de l'année. Enfin, hormis l'enseignement de spécialité « mathématiques » et l'option « mathématiques complémentaires », tous les élèves de première et terminale générales suivent un cours du tronc commun, l'enseignement scientifique, de 2 heures par semaine associant, aux côtés des matières sciences-physiques et SVT, les mathématiques.

Afin de déterminer le nombre d'élèves suivant un enseignement en mathématiques en première et terminale générales depuis la réforme, le cours d'enseignement scientifique a été exclu du champ de notre analyse. En effet, la mission de d'analyse des vœux et affectations dans l'enseignement supérieur des bacheliers en 2021 menée par l'IGESR[111] a constaté lors des auditions que des formations scientifiques considèrent que cet enseignement scientifique ne permettait pas aux élèves d'acquérir des compétences suffisantes en mathématiques. Aussi, la part des cours assurés par des enseignants de mathématiques est-elle faible : selon la DEPP[112] 6 % des heures de cours de l'enseignement scientifique en 2020 sont assurées par les enseignants de mathématiques (contre 47 % pour les professeurs de SVT et 46 % pour les professeurs de physique-chimie).

[111] Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche, Analyse des vœux et affectations dans l'enseignement supérieur des bacheliers 2021 après la réforme du lycée général et technologique, 2022

[112] DEPP, Note d'information : Les effets des choix des élèves en lycée général et technologique sur les services des enseignants (2021)

Annexe 5 - La réforme du lycée général et technologique

La voie générale en première et terminale :

❶ Socle de culture commune	Première	Terminale
Français	4h	-
Philosophie	-	4h
Histoire géographie	3h	3h
Enseignement moral et civique	0h30	0h30
Langue vivante 1 et langue vivante 2	4h30	4h
Éducation physique et sportive	2h	2h
Enseignement scientifique	2h	2h

Total horaire élève

Première
16h
Terminale
15h30

❷ Disciplines de spécialité	Première	Terminale
Arts	4h	6h
Écologie, agronomie et territoires	4h	6h
Histoire géographie, géopolitique et sciences politiques	4h	6h
Humanités, littérature et philosophie	4h	6h
Langues et littératures étrangères	4h	6h
Mathématiques	4h	6h
Numérique et sciences informatiques	4h	6h
Sciences de la vie et de la Terre	4h	6h
Sciences de l'ingénieur[1]	-	-
Sciences économique et sociales	4h	6h
Physique chimie	4h	6h

Total horaire élève

Première
12h
3 disciplines
Terminale
12h
2 disciplines parmi les 3 suivies en première

Première
28h
Terminale
27h30

❸ **Orientation**
Durée **1h30** par semaine

❹ **Enseignements facultatifs**
Maximum **1** enseignement en première et choix possible d'un second en terminale
Libre choix
Durée **3h**

Arts
LCA
EPS
LV3

En terminale uniquement :
- **Mathématiques expertes**
- **Mathématiques complémentaires**
- **Droit et grands enjeux du monde contemporain**

1. Horaires spécifiques en lien avec la voie technologique

Source : Ministère de l'Education Nationale, de la Jeunesse et des Sport

Glossaire

A

AMIES : Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société

ANR : Agence nationale de la recherche

C

CAPES : Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré

CIFRE : Convention Industrielle de Formation par la Recherche

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CNU : Conseil national des universités

D

DEPP : Direction de l'Evaluation, de la Prospective et de la Performance

E

ERC : European Research Council

ETI : Entreprise de taille intermédiaire

F

FMJH : Fondation Mathématique Jacques-Hadamard

FSMP : Fondation Sciences Mathématiques de Paris

H

HCERES : Haut Conseil de l'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

I

IGESR : Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche

Inria : Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

INSMI : Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions

M

MESRI : Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

MSO : modélisation, simulation, optimisation

O

OST : Observatoire des Sciences et Techniques

P

PCS : Profession et catégorie socioprofessionnelle

PIB : Produit intérieur brut

PISA : Programme for International Student Assessment

PME : Petite et moyenne entreprise

R

R&D : Recherche et développement

S

SATT : Société d'accélération du transfert de technologies

T

Timss : Trends in International Mathematics and Science Study

Table des graphiques

Graphique 1 : Evolution de la contribution des mathématiques dans les emplois salariés de 2012 à 2019 14
Graphique 2 : Emplois impactés par les mathématiques en 2019 par région 15
Graphique 3 : Evolution de la répartition des emplois salariés impactés par les mathématiques par type de PCS 16
Graphique 4 : Evolution de la répartition des emplois salariés impactés par les mathématiques par catégorie 17
Graphique 5 : Contribution des mathématiques dans les emplois salariés par pays 18
Graphique 6 : Evolution de la contribution des mathématiques à la valeur ajoutée entre 2012 à 2019 20
Graphique 7 : Contribution des mathématiques dans la valeur ajoutée par pays 21
Graphique 8 : Top 15 des secteurs les plus contributifs en emplois salariés impactés par les mathématiques 22
Graphique 9 : Part dans la création d'emplois et de la population active par niveau de qualification, 2018-30 26
Graphique 10 : Indices de spécialisation par grande discipline en France de 2000 à 2019 43
Graphique 11 : Indices de spécialisation par grande discipline par pays (2019)..... 43
Graphique 12 : Structure des effectifs de chercheurs en mathématiques en France (estimation)..... 45
Graphique 13 : Evolution du nombre d'enseignants-chercheurs titulaires en mathématiques par section de 2000 à 2020, nombre d'enseignants-chercheurs 46
Graphique 14 : Classement de Shanghai en mathématiques en 2021 (15 premières universités) – Shanghai ranking 50
Graphique 15 : Evolution du nombre de publications en mathématiques par pays de 2000 à 2015 51
Graphique 16 : Part mondiale des publications en mathématiques par pays par corpus (2000-2015)..... 52
Graphique 17 : Distribution de la production en mathématiques par domaine (2000-2015), en % 54
Graphique 18 : Scores de l'étude PISA par pays entre 2003 et 2018 58
Graphique 19 : Scores moyens en fin de CM2 selon la profession et catégorie socioprofessionnelle (PCS) du « chef de famille » 59
Graphique 20 : Effectifs des étudiants en formation scientifique de 2012 à 2020 63
Graphique 21 : Effectifs étudiants et universités du secteur disciplinaire mathématiques tous cycles confondus, en France métropolitaine, 2020-2021 65
Graphique 22 : Les 6 secteurs qui contribuent à plus de 50 % des recrutements d'ingénieurs en 2019 68
Graphique 23 : Evolution du taux de couverture aux concours externes en mathématiques de 2008 à 2020 69

Graphique 24 : Les deux approches pour calculer l'impact économique des mathématiques 75
Graphique 25 : Chiffres clés sur les CIFRE 81