



ASSIS
D
MATHÉMATIQUES

Étude de l'impact économique des mathématiques en France

Un résumé



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

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 ».

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 ».

Aujourd'hui cependant, ce « théorème inutile » du 17^{ème} siècle est la base de la sécurité de tous les échanges numériques.

Au début du 20^{ème} siècle, Perron et Frobenius démontrent un résultat portant sur les valeurs et vecteurs propres des matrices à coefficients positifs. Si ce résultat n'a 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 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 21^{ème} 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 diplômées et diplômés en mathématiques.

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

| | |
|---|----|
| Édito | 3 |
| Chiffres-clés | 5 |
| Contexte de l'étude | 6 |
| Méthodologie | 7 |
| Un impact significatif croissant sur l'emploi | 8 |
| Un impact important sur le PIB | 9 |
| Résultats comparables en Europe | 10 |
| Concentration régionale | 11 |
| Les secteurs impactés par les mathématiques | 12 |
| Les professions impactées | 13 |
| France 2030 | 14 |
| Former pour anticiper la pénurie | 15 |
| Une excellence importante et reconnue... | 16 |
| ... mais fragile | 17 |
| Une coopération à amplifier | 18 |
| Recrutement des docteurs en entreprise | 19 |

3,3 millions

d'emplois impactés en 2019, en hausse de 14 % depuis 2012

18 %

du PIB impacté en 2019, en hausse de 2 points depuis 2012

Plus de

3 500

chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques

Baisse de

8%

de l'effectif des enseignants-chercheurs
en mathématiques de 2010 à 2020

Hausse de

6%

de l'effectif des étudiants de mathématiques
chaque année depuis 2022

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Avec le soutien du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche, le CNRS, via l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi), organise en 2022 les **Assises des mathématiques**. Celles-ci ont pour but de dresser un état des lieux des mathématiques en France, d'identifier les nouveaux besoins en mathématiques et de formuler des propositions.

La préparation de ces trois journées, qui se dérouleront du 14 au 16 novembre 2022 à la Maison de l'UNESCO et auxquelles vous êtes chaleureusement conviés, repose en particulier sur une mise à jour d'une étude de 2015.

Les Assises reposent sur un ensemble d'actions comprenant :

- ▶ l'audition par des groupes de travail d'un vaste ensemble d'acteurs du monde scientifique, du monde socio-économique et du monde politique ;
- ▶ une synthèse nationale des mathématiques, réalisées indépendamment par le Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur qui remettra ses conclusions le 10 octobre ;
- ▶ une étude d'impact économique.

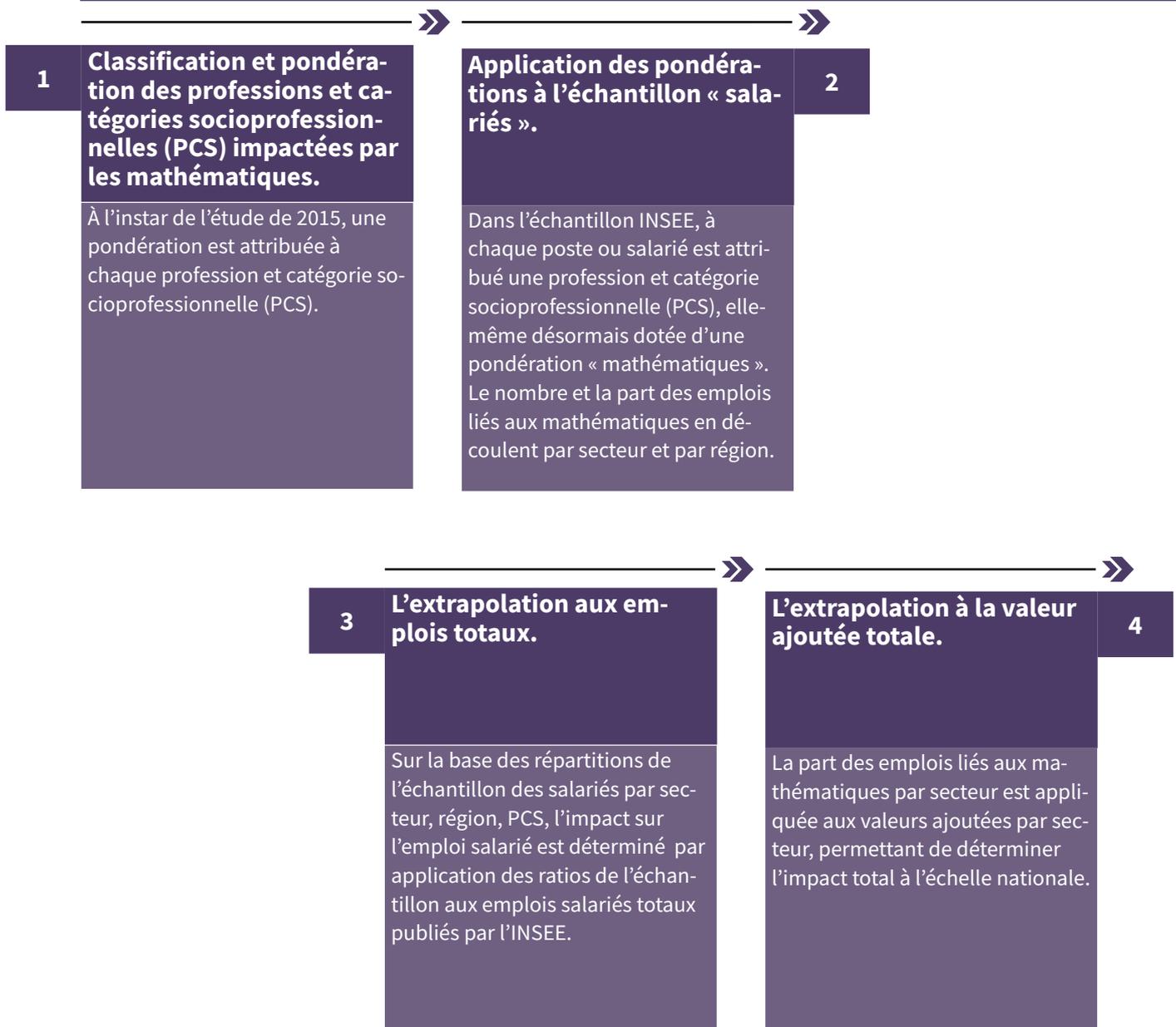
Un projet coporté par le CNRS, Inria et l'Université Grenoble-Alpes, l'**Agence pour les mathématiques en interactions avec l'entreprise et la société** (AMIES) vise à promouvoir et développer les interactions entre les mathématiciens, tant professionnels qu'étudiants, et le monde de l'entreprise. Labellisé comme Laboratoire d'excellence en 2011 dans le cadre du Programme investissement d'avenir, ce projet est désormais intégré au projet Initiative d'excellence de et l'Université Grenoble-Alpes. Il est géré par une unité du CNRS et de l'Université Grenoble-Alpes portant le même nom AMIES et dirigée par Véronique Maume-Deschamps.

En 2015, l'AMIES avait commandité une étude afin de mesurer l'impact économique des mathématiques en France, en partenariat avec la Fondation sciences mathématiques de Paris, la Fondation mathématique Jacques Hadamard et en association avec les laboratoires d'excellence de mathématiques.

L'Insmi du CNRS a souhaité cette année mettre à jour cette étude dont les chiffres dataient de 2012.

La méthodologie de calcul de l'impact est la même que celle utilisée en 2015.

L'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 ont notamment permis d'établir une estimation quantitative de l'impact économique des mathématiques. Pour y parvenir, les professions identifiées en 2015 directement impactées par les mathématiques ont été reprises, leur poids dans les différents secteurs économiques a été évalué. De cela découlent l'emploi et la valeur ajoutée attribuables à la mobilisation des mathématiques.

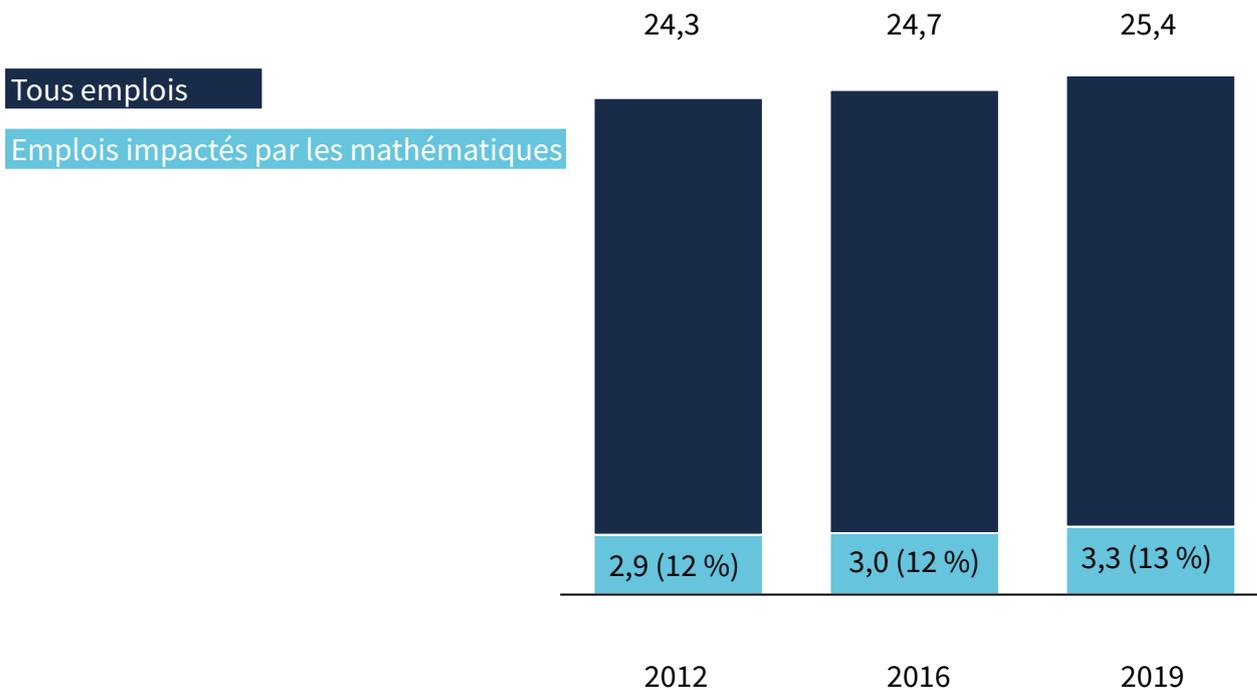
UN IMPACT SIGNIFICATIF CROISSANT SUR L'EMPLOI

**3,3 MILLIONS
D'EMPLOIS**

L'étude montre que 3,3 millions d'emplois sont impactés par les mathématiques. Cela représente **13%** de l'ensemble des 25,4 millions d'emplois salariés en France en 2019. Sans formation ni recherche mathématique en France, ce sont donc l'équivalent de 3,3 millions d'emplois qui ne seraient pas pourvus.

En 2012, le nombre d'emplois salariés par les mathématiques s'élevait à 2,9 millions, soit 12% des 24,3 millions d'emplois. De 2012 à 2019, les emplois impactés en mathématiques ont donc augmenté de près de 14% en nombre d'emplois et de 1 point en fraction des emplois.

+ 14 %



Évolution des emplois impactés par les mathématiques
(en millions d'emplois)

**CROISSANCE
FORTE**

Alors que de 2012 à 2019, le taux de croissance annuelle totale des emplois est de 0,7%, celui des emplois impactés par les mathématiques est de 2%.

UN IMPACT IMPORTANT SUR LE PIB

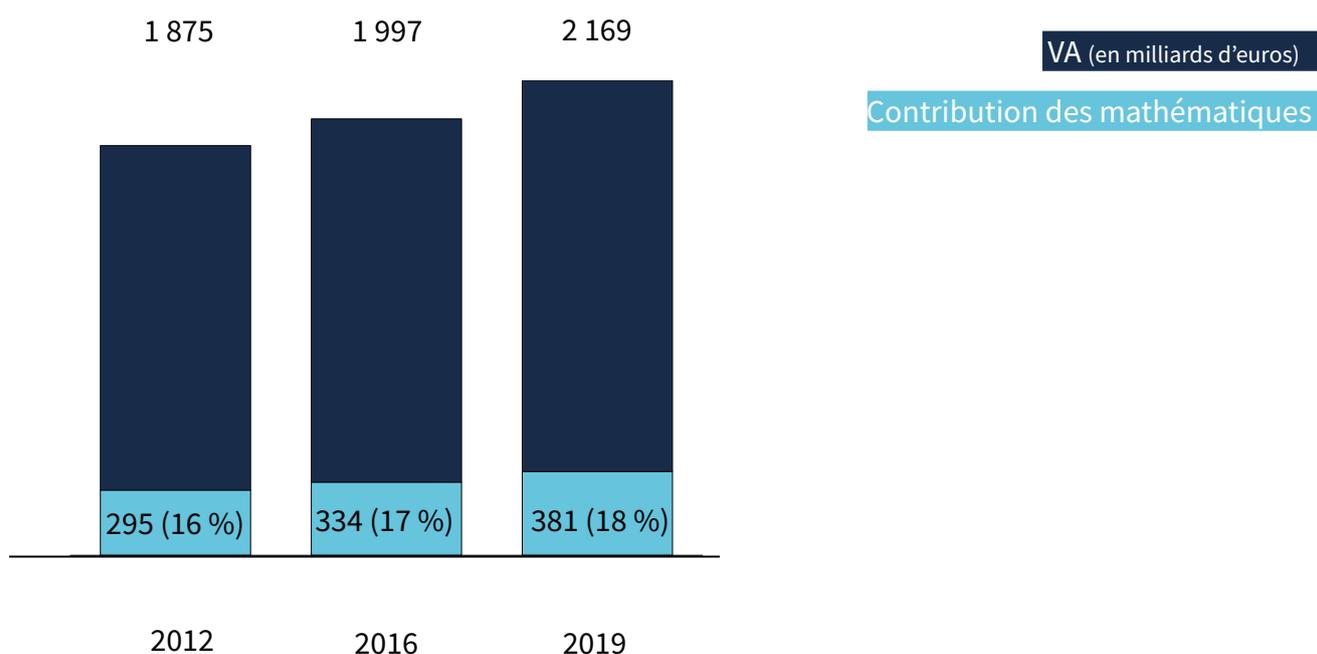
En 2019, la valeur ajoutée en France (valeur de la production diminuée des consommations intermédiaires) est de 2 169 milliards d'euros. La contribution des mathématiques à cette valeur ajoutée est estimée à 381 milliards d'euros soit près de 18%.

18 %

+ 29 %

En 2012, la valeur ajoutée liée aux mathématiques s'élevait à 295 milliards d'euros, soit 16% de la valeur ajoutée totale de 1 875 milliards d'euros.

De 2012 à 2019, la valeur ajoutée liée aux mathématiques a donc crû de 29% en valeur et de 2 points en fraction de la valeur ajoutée.

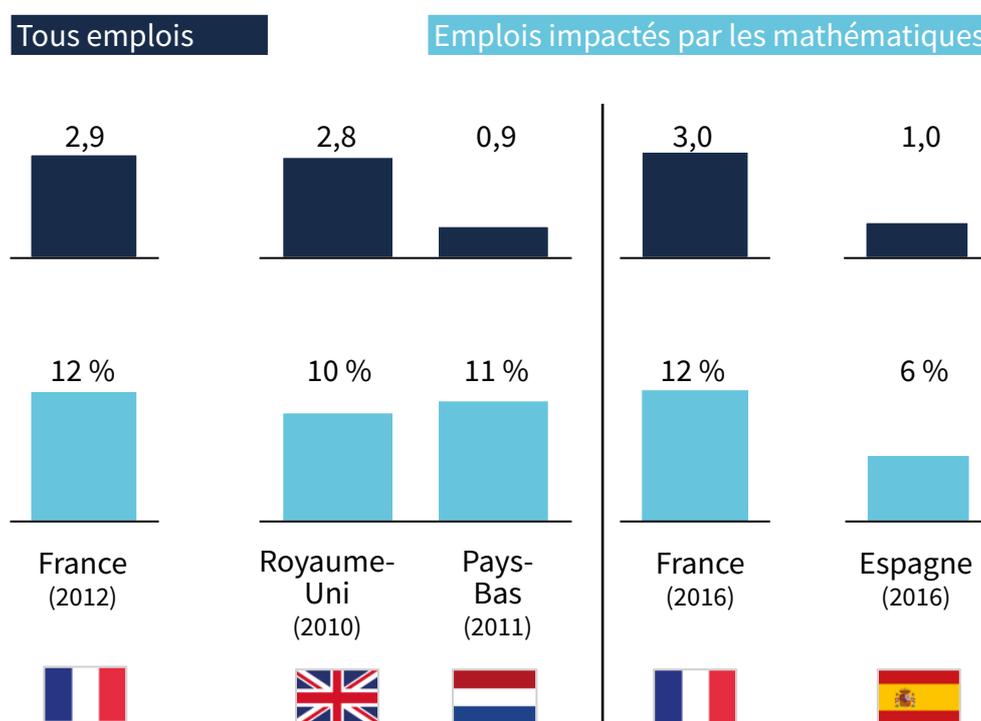


**Évolution de la contribution des mathématiques à la valeur ajoutée
(en milliards d'euros)**

RÉSULTATS COMPARABLES EN EUROPE

Les études menées sur la part des mathématiques dans l'emploi au Royaume-Uni (données de 2010), aux Pays-Bas (données de 2011) et en Espagne (données de 2016) montrent que l'impact des mathématiques sur l'emploi en France est comparable à celui au Royaume-Uni et aux Pays-Bas et supérieur à celui de l'Espagne.

Ainsi, en 2016, l'impact sur l'emploi en Espagne est estimé à 6 % quand il est estimé à 12 % en France la même année.



Emplois impactés par les mathématiques par pays (en millions d'emplois)

Les auteurs de l'étude réalisée en Espagne notent 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.

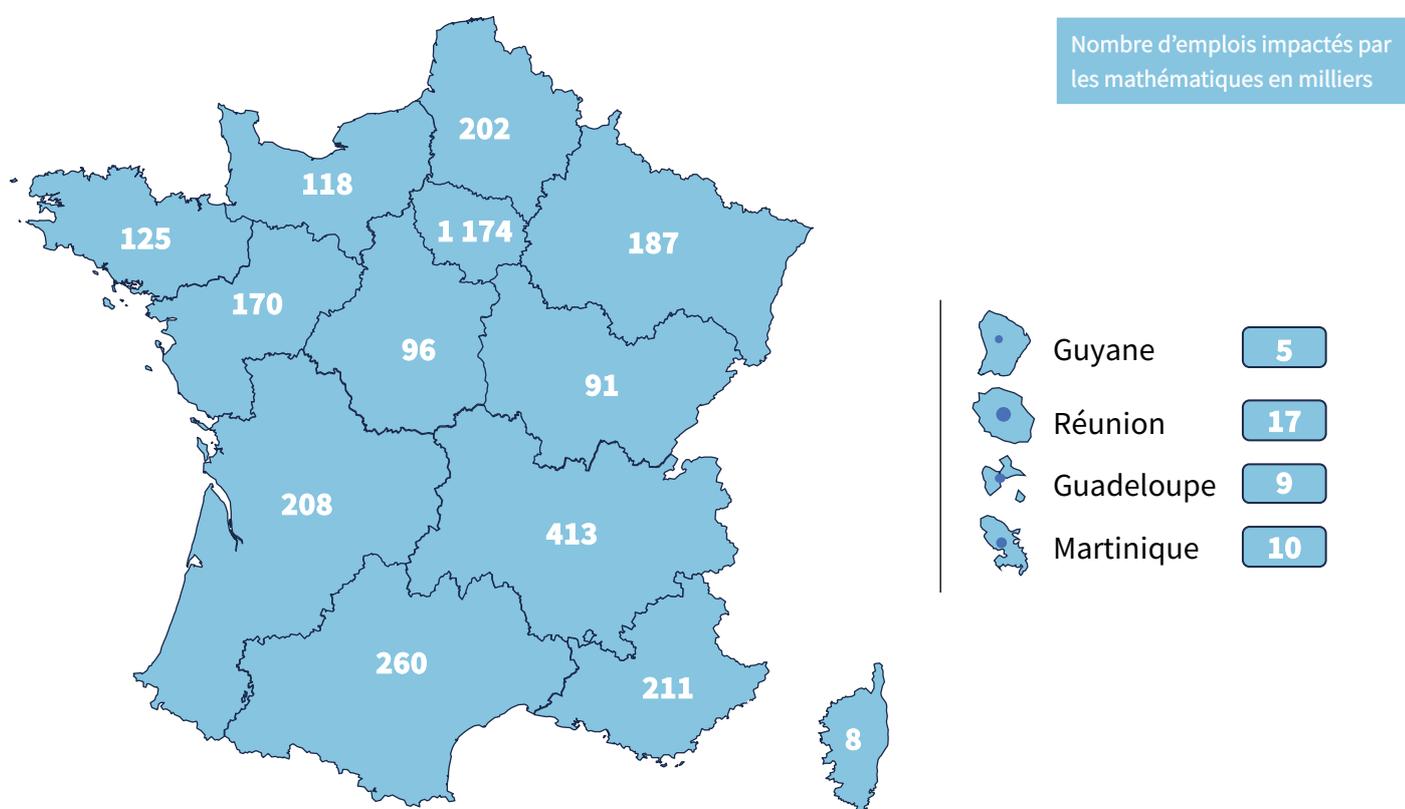
CONCENTRATION RÉGIONALE

Deux régions concentrent près de la moitié des emplois salariés impactés par les mathématiques : l'Île-de-France (35 %) et Auvergne-Rhône-Alpes (12 %).

47 %

80 %

Sept régions concentrent 80 % des emplois salariés impactés par les mathématiques : l'Île-de-France (35 %), Auvergne-Rhône-Alpes (12 %), l'Occitanie (8 %), Provence-Alpes-Côte-D'azur, la Nouvelle Aquitaine, les Hauts-de-France et Grand-Est (6 % chacune).



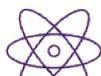
Par rapport à 2012, les régions dont l'emploi impacté par les mathématiques est en plus forte croissance sont les Pays de la Loire (croissance annuelle de 3,1 %) et l'Occitanie (+2,9 %). La Bretagne (+2,4 %) et la Nouvelle-Aquitaine (+2,2 %) ont aussi une croissance supérieure à la croissance nationale annuelle (+2 %).

LES SECTEURS IMPACTÉS PAR LES MATHÉMATIQUES

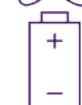
Les secteurs pour lesquels la part des mathématiques dans les emplois est la plus importante sont :



les **services informatiques** (79 % des emplois du secteur impactés) ;



la **recherche et le développement scientifique** (72 %) ;



la **production et distribution d'électricité et de gaz** (59 %) ;



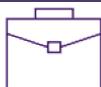
les **télécommunications** (59 %).

La part des emplois impactés par les mathématiques a fortement augmenté pour

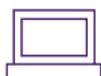
- ▶ les télécommunications (de 47 % en 2016 à 59 % en 2019) ;
- ▶ l'industrie pharmaceutique (41 % à 44 %) ;
- ▶ les activités financières et d'assurance (29 % à 32 %) ;

contre une moyenne tous secteurs confondus de 12 % en 2016 et 13 % en 2019.

Les secteurs qui concentrent le plus d'emplois impactés par les mathématiques :



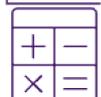
les activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques (15 %) ;



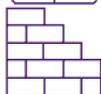
les services informatiques (11 %) ;



les activités financières et d'assurance (8 %) ;



le commerce (8 %) ;



la construction (6 %).

LES PROFESSIONS IMPACTÉES

En 2019, parmi les emplois salariés impactés par les mathématiques, une catégorisation des professions les plus impactés 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 charges de recherche de la recherche publique, état, hôpitaux, professeurs du secondaire et du supérieur).

Les ingénieurs et techniciens représentent à eux seuls environ 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).

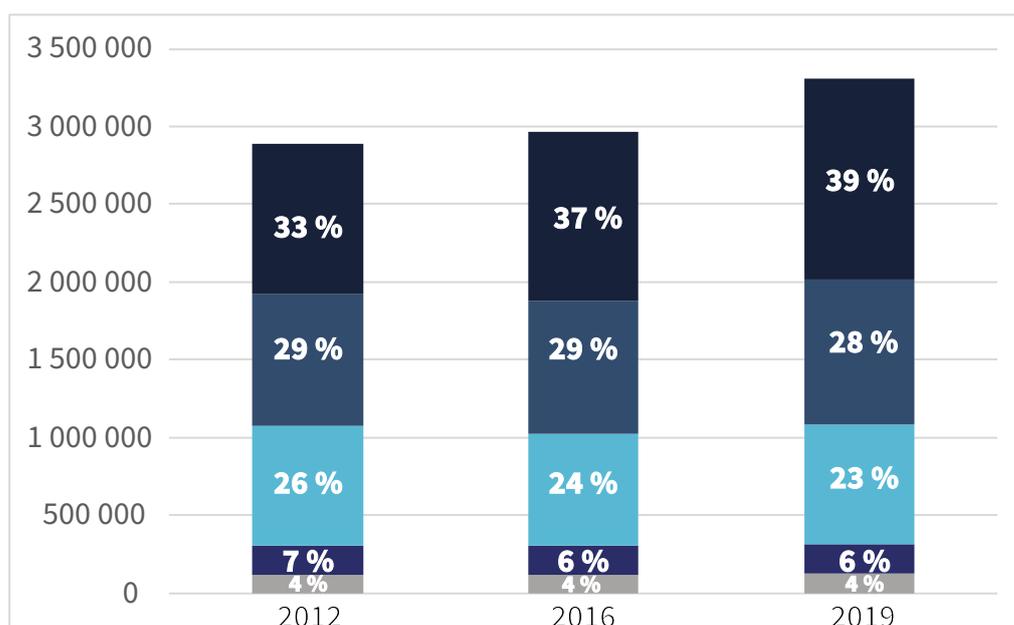
Ingénieurs

Techniciens

Cadres des services financiers

Autres cadres

Personnel de direction de la fonction publique



Évolution de la répartition des emplois salariés impactés par les mathématiques (par type de PCS)

FRANCE 2030

L'étude de France Stratégie « *Quels Métiers en 2030 ?* » montre que de 2019 à 2030, près d'**un million** d'emplois de niveau études supérieures devront être créés pour répondre aux besoins du marché du travail.

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 devraient être créés par rapport au scénario de référence.



La création de ce million d'emplois nouveaux demande un effort sur l'enseignement supérieur. Cet effort sera d'autant plus important que la réponse aux besoins du marché en 2030 requiert en plus que 800 000 emplois actuellement occupés par des personnes ayant un niveau d'étude baccalauréat soient occupés par des personnes ayant suivi des études supérieures. Les diplômés du supérieur occuperont 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 (soit 26 %) de 2019 à 2030, ce qui représente 12 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030 ;
- ▶ les emplois d'ingénieurs et cadres techniques de l'industrie augmenteront de 75 000 postes (soit 24%) ce qui représente 8 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030 ;
- ▶ les emplois de personnels d'études et de recherche devraient également augmenter à hauteur de 50 000 postes (soit 13 %), ce qui représente 5 % de la croissance des emplois entre 2019 et 2030.

Le secteur R&D contribuera à la création de 85 000 emplois diplômés du supérieur de 2019 à 2030.

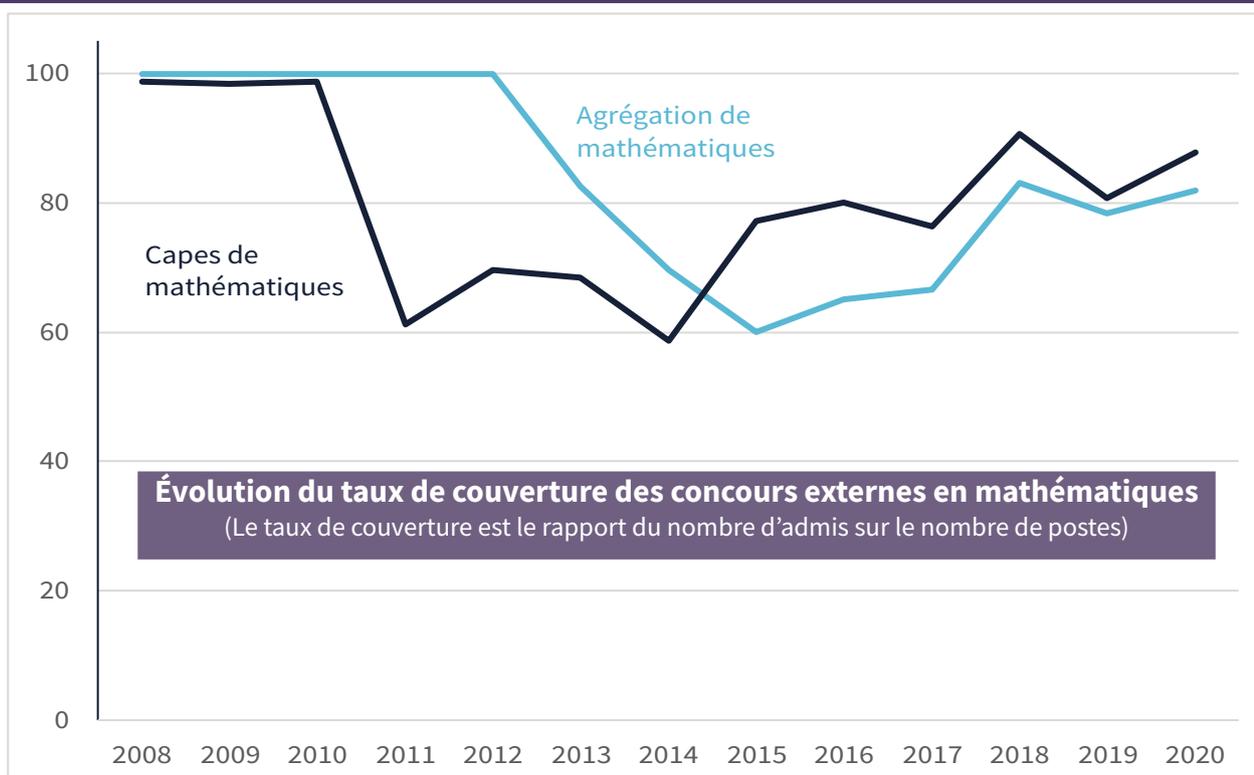
FORMER POUR ANTICIPER LA PÉNURIE

Les acteurs économiques recherchent activement trois types de compétences intermédiaires et avancées actuellement en pénurie :

- ▶ les compétences avancées en développement des mathématiques des mathématiciens ingénieurs, souvent destinés à des postes de R&D ;
- ▶ les compétences avancées en utilisation multidisciplinaire des mathématiques, promis à des postes en R&D ou de *data scientists* ;
- ▶ les compétences intermédiaires en mathématiques pour des postes de techniciens ou de *data engineers*.

Les disponibilités de personnes suffisamment formées aux mathématiques sont assez faibles, montrant la nécessité d'investir dans la formation dans l'enseignement supérieur :

- ▶ **95 % des diplômés d'écoles d'ingénieurs** en 2018 ont trouvé un emploi un an après l'obtention de leur diplôme ;
- ▶ en 2017, **96 % des diplômés de master de mathématiques** ont trouvé un emploi trente mois après l'obtention de leur diplôme ;
- ▶ en 2017, **94 % des docteurs en mathématiques** ont un emploi trois ans après leur soutenance (92% un ans après) la plupart dans le secteur public (71 %), voire académique (58 %, en baisse cependant de 4 points depuis 2015).



Depuis plus de 10 ans, le nombre de places au CAPES est supérieur au nombre d'admis. Il en est de même pour l'agrégation depuis 2013

UNE EXCELLENCE IMPORTANTE ET RECONNUE...

Depuis plus de 20 ans, les mathématiques sont le premier domaine de spécialisation scientifique en France

La qualité de la recherche mathématique est régulièrement reconnue : la France est le deuxième pays en nombre de **médaille Fields**, au coude-à-coude avec les États-Unis (on peut citer Hugo Duminil-Copin, lauréat en 2022 qui sera présent aux Assises)



La qualité de la formation et de la recherche mathématique est régulièrement reconnue : pour les mathématiques, le classement de Shanghai 2022 place une université française (Paris-Saclay) en tête, Sorbonne Université occupant la troisième place. 36 établissements française apparaissent dans le palmarès.

... MAIS FRAGILE

De 2000 à 2020, les effectifs d'enseignants-chercheurs en mathématiques ont baissé de 8 % principalement en raison de la diminution des postes en mathématiques fondamentales de 20 %.

En comparaison, pendant la même période, le nombre d'enseignants-chercheurs toutes disciplines confondues a augmenté de 7 %. C'est en particulier un point de fragilité pour la recherche puisque les enseignants-chercheurs en mathématiques représentent 87 % des effectifs de recherche publique.

Évolution du nombre d'enseignants-chercheurs titulaires en mathématiques par section CNU de 2000 à 2020



Le nombre d'étudiants en licence, en master ou en doctorat de mathématiques a augmenté de 6 % par an depuis 2012 pour atteindre 40 000 en 2020.

Pendant la même période, les effectifs universitaires totaux ont crû de 3 % par an.

La part des publications françaises parmi les publications mondiales est en baisse, passant de 7,9 % à 4,3 % entre 2000 et 2019. Ces données seront affinées dans la synthèse nationale des mathématiques menée par le Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur.

UNE COOPÉRATION À AMPLIFIER

Les compétences mathématiques mobilisables par le monde économique ne sont pas toujours identifiées par les entreprises.

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.

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.

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), labellisée 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 trois 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 ;
- ▶ 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.

RECRUTEMENT DES DOCTEURS EN ENTREPRISE

Afin d'enrichir les débouchés des 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 recherche publique au secteur privé, et de favoriser l'insertion professionnelle des docteurs en mathématiques.

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.

Rendez-vous aux

ASSISES DES MATHÉMATIQUES

du 14 au 16 novembre 2022
à la Maison de l'UNESCO, à Paris



<https://www.assises-des-mathematiques.fr>

Téléchargez l'étude

« Impact économique des mathématiques en France »
sur le site

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET DE LEURS INTERACTIONS

3, rue Michel-Ange 75016 Paris

www.Insmi.cnrs.fr

Réalisation et mise en page: Insmi

Impression: CNRS IFSEM secteur de l'imprimé

Septembre 2022

