

LES  
ASSIS  
DES  
MATHÉMATIQUES

**Travaux préparatoires  
des groupes de travail**



# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>Les propositions</b> .....	<b>7</b>
<b>Partie I Mathématiques et interdisciplinarité</b> .....	<b>15</b>
<b>I.1. Diagnostic</b> .....	<b>17</b>
I.1.1. Le frein de la reconnaissance institutionnelle .....	17
I.1.2. Orientation pluridisciplinaire de la formation mathématique .....	19
<b>I.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail</b> .....	<b>21</b>
I.2.1. Favoriser le travail interdisciplinaire .....	21
I.2.2. Favoriser la formation à l'interdisciplinarité .....	23
<b>Partie II Mathématiques et économie</b> .....	<b>27</b>
<b>II.1. Diagnostic</b> .....	<b>29</b>
II.1.1. Les besoins des entreprises .....	29
II.1.2. Les attentes des académiques .....	31
II.1.3. Les mathématiques, expression des souverainetés nationale et européenne ..	31
II.1.4. Aligner les attentes des industriels et des académiques .....	32
<b>II.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail</b> .....	<b>33</b>
II.2.1. Dispositifs existants .....	33
II.2.2. Aligner les attentes .....	33
II.2.3. Lever les obstacles institutionnels .....	35
<b>Partie III Mathématiques et société</b> .....	<b>39</b>
<b>III.1. Diagnostic</b> .....	<b>41</b>
III.1.1. Un paradoxe saisissant : nécessité grandissante des mathématiques dans tous les domaines vs méconnaissance et défiance du grand-public .....	41
III.1.1.1 Des usages de plus en plus diversifiés .....	41
III.1.1.2 Les mathématiques, une nécessité citoyenne .....	42
III.1.1.3 Méconnaissance et défiance .....	43
III.1.2. À la recherche de causes et de leviers pour réagir .....	44
III.1.2.1 Le rôle de l'environnement familial .....	44
III.1.2.2 L'image du scientifique .....	45
III.1.2.3 L'enseignement des mathématiques à l'école .....	46
III.1.2.4 Les mathématiques dans les médias .....	47
<b>III.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail</b> .....	<b>48</b>
<b>Partie IV Mathématiques et attractivité des carrières</b> .....	<b>51</b>
<b>IV.1. Diagnostic</b> .....	<b>53</b>
IV.1.1. Mobilité entre le monde académique et l'industrie, place des doctorants .....	53
IV.1.2. Parité et diversité dans la recherche mathématique .....	55
IV.1.2.1 Constat .....	55
IV.1.2.2 Arguments avancés pour expliquer le constat .....	58
IV.1.2.3 Un regard sur ce qui se fait à l'étranger .....	60
IV.1.2.4 Sondage accès à la carrière .....	60

IV.1.2.5	Sondage parité : une analyse de Laurence BROZE . . . . .	61
IV.1.3.	Attractivité et excellence de la recherche mathématique en France . . . . .	62
<b>IV.2.</b>	<b>Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail . . . . .</b>	<b>65</b>
IV.2.1.	Embauche en entreprise des étudiants en mathématiques . . . . .	65
IV.2.2.	Accroissement de l'attractivité des mathématiques . . . . .	65
IV.2.3.	Parité et égalité dans les carrières académiques . . . . .	66
<b>Partie V</b>	<b>Mathématiques et enseignement . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>V.1.</b>	<b>Diagnostic . . . . .</b>	<b>73</b>
V.1.1.	Introduction . . . . .	73
V.1.2.	Conception, mise en œuvre et suivi des réformes . . . . .	75
V.1.2.1	Constats et état des lieux de la situation actuelle . . . . .	75
V.1.2.2	Éléments quantitatifs . . . . .	77
V.1.2.3	Éléments de comparaisons internationales . . . . .	80
V.1.3.	Relations entre mathématiques, société et autres disciplines . . . . .	81
V.1.3.1	Constats et état des lieux de la situation actuelle . . . . .	81
V.1.3.2	La formation continue dans les entreprises et le monde pro- fessionnel . . . . .	83
V.1.3.3	Éléments quantitatifs et de comparaison internationale . . . . .	85
V.1.4.	Formation initiale et continue des enseignants en mathématiques . . . . .	86
<b>V.2.</b>	<b>Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail . . . . .</b>	<b>93</b>
V.2.1.	Introduction . . . . .	93
V.2.2.	Conception, mise en œuvre et suivi des réformes . . . . .	94
V.2.3.	Relations entre les mathématiques, la société et les autres disciplines . . . . .	97
V.2.4.	Formation initiale et continue et développement professionnel des enseignants en mathématiques . . . . .	99
V.2.4.1	En licence et master . . . . .	99
V.2.4.2	Après le master . . . . .	102
<b>Partie VI</b>	<b>Financement et organisation de la recherche en mathématiques . . . . .</b>	<b>105</b>
<b>VI.1.</b>	<b>Diagnostic . . . . .</b>	<b>107</b>
VI.1.1.	Augmenter l'impact des mathématiques . . . . .	107
VI.1.2.	Dynamiser la communauté et mieux cibler les moyens . . . . .	108
<b>VI.2.</b>	<b>Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail . . . . .</b>	<b>112</b>
VI.2.1.	Interactions . . . . .	112
VI.2.2.	Attractivité . . . . .	114
<b>Partie VII</b>	<b>Mathématiques en prise avec le monde réel . . . . .</b>	<b>117</b>
<b>VII.1.</b>	<b>Diagnostic . . . . .</b>	<b>119</b>
VII.1.1.	Inadéquation des moyens et besoins en personnel d'appui pour le calcul et les statistiques . . . . .	119
VII.1.2.	Nécessité d'une formation aux assistants de preuve . . . . .	120
VII.1.3.	Durée des thèses . . . . .	120
VII.1.4.	Difficultés du travail interdisciplinaire . . . . .	123
VII.1.5.	Manque d'intérêt pour les mathématiques . . . . .	124
<b>VII.2.</b>	<b>Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail . . . . .</b>	<b>124</b>
<b>Crédits des illustrations . . . . .</b>		<b>129</b>

# Introduction

En 2022, l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du Centre national de la recherche scientifique a souhaité que soit menée une réflexion sur la place des mathématiques dans la société. Ce souhait a été soutenu par la Direction générale de la recherche et de l'innovation du Ministère supérieur de l'enseignement supérieur et de de la recherche.

Les assises ont culminé avec un grand évènement qui s'est tenu du 14 au 16 novembre 2022 à la Maison de l'UNESCO, à Paris. Près de 750 participantes et participants ont assisté aux tables rondes, exposés et témoignages, faisant intervenir scientifiques de haut rang, décideurs politiques et économiques, membres de la société civile confrontés aux mathématiques. On retrouvera le films de ces trois jours sur le site internet des Assises<sup>1</sup>.

Elles avaient commencé avec la mise à jour d'une étude portée en 2015 par l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société portant sur l'impact économique des mathématiques. Conduite de janvier à mai 2022, la mise à jour fournit 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.

Le texte est lui aussi disponible sur le site des Assises<sup>2</sup>.

Sept groupes de travail ont été formés pour approfondir un ensemble de thèmes liés aux mathématiques. De mars à juin 2022, ils ont mené une centaine d'entretiens avec des personnes très souvent externes au monde de la recherche académique en mathématiques. Leur travail a permis la réussite des trois journées d'échanges à la Maison de l'UNESCO. Il a donné lieu à la rédaction de synthèses et de propositions que ce document a pour objectif de reprendre.

En parallèle le Haut comité à l'évaluation de la recherche scientifique a préparé puis publié une « Synthèse nationale et de prospective sur les mathématiques » que nous vous invitons à lire en complément de ce texte<sup>3</sup>.

---

1. <https://www.assises-des-mathematiques.fr/1-evenement/film-de-1-evenement>.

2. <https://www.assises-des-mathematiques.fr/ressources/etude-d-impact>.

3. <https://www.hceres.fr/fr/actualites/publication-de-la-synthese-nationale-et-de-prospective-sur-les-mathematiques>.

---

# Les propositions

Nous dressons ici la liste des propositions faites en insistant sur l'importance de les lire dans le contexte donné dans les chapitres correspondant aux groupes de travail qui les ont formulées.

## Mathématiques et interdisciplinarité

### Favoriser le travail interdisciplinaire

#### Proposition I.1 page 21

Renforcer la communication entre scientifiques en favorisant la colocalisation et la double affiliation au niveau département, notamment *via* la création par le Centre national de la recherche scientifique de deux ou trois laboratoires interdisciplinaires impliquant des mathématiciens.

#### Proposition I.2 page 22

Favoriser les décharges d'enseignement pour la recherche interdisciplinaire.

#### Proposition I.3 page 23

Organiser ou remodeler les modalités d'évaluation des travaux et des carrières des chercheurs travaillant en interdisciplinarité.

### Favoriser la formation à l'interdisciplinarité

#### Proposition I.4 page 23

Financer une 4<sup>e</sup> année de thèse, prioritairement pour celles comportant une partie exploratoire importante et/ou une mobilité thématique.

#### Proposition I.5 page 24

Promouvoir et enseigner la modélisation mathématique dès l'année de licence.

---

## Mathématiques et économie

### Aligner les attentes

Proposition II.1 page 33

Développer un réseau d'ingénierie et de lieux de rencontres, éléments constitutifs des « Maisons régionales des mathématiques ».

### Lever les obstacles institutionnels

Proposition II.2 page 35

Faciliter un dispositif de conseil en entreprise pour les doctorantes et doctorants.

Proposition II.3 page 35

Faciliter la contractualisation avec les entreprises, lever les obstacles administratifs à une collaboration qui démarre.

Proposition II.4 page 36

Mieux prendre en compte les relations avec les entreprises dans l'évaluation des carrières académiques, notamment par :

- la mise en place de chaires innovation spécifiques aux mathématiques ;
- la création d'un dispositif de mise à disposition des entreprises des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs ;
- une meilleure prise en compte des périodes consacrées à l'entreprise (années sabbatiques en entreprise, création d'entreprise, etc.).

## Mathématiques et société

Proposition III.1 page 48

Mieux faire connaître l'utilité des mathématiques, par une mise en avant de parcours attractifs ou originaux, une meilleure communication sur les sujets de société pour lesquels les mathématiques jouent un rôle et en proposant des formations initiales et continues.

Proposition III.2 page 48

Changer l'image du mathématicien et de la mathématicienne, en prenant garde de montrer la diversité plutôt que l'héroïsation, en favorisant les interactions et en développant des recherches sociologiques sur la réception et la compréhension des mathématiques.



---

Proposition III.3 page 49

Investir les lieux culturels et les nouveaux supports de diffusion et, pour favoriser cet investissement, mieux reconnaître le travail d'interaction des scientifiques avec la société.

Proposition III.4 page 49

Décloisonner les mathématiques.

Proposition III.5 page 50

Donner un cadre à la réflexion sur l'éthique des mathématiques en mettant en place un comité d'éthique des mathématiques.

## Mathématiques et attractivité des carrières

### Embauche en entreprise des étudiants en mathématiques

Proposition IV.1 page 65

Former tous les étudiants en mathématiques au traitement de données et/ou au codage.

Proposition IV.2 page 65

Augmenter la sensibilisation au travail en entreprise par des formations spécifiques.

### Accroissement de l'attractivité des mathématiques

Proposition IV.3 page 65

Développer dans chaque région une équipe spécialisée pour la médiation mathématique (rayonnement, communication, sensibilisation).

Proposition IV.4 page 66

Développer un registre national des actions de visibilité des mathématiques.

### Parité et égalité dans les carrières académiques

Proposition IV.5 page 66

Réserver aux femmes les postes de repyramidage des sections « mathématiques » et « mathématiques appliquées et applications des mathématiques » du Conseil national des universités.

---

**Proposition IV.6 page 67**

Mettre en place une charte de parité pour les commissions de recrutement dans l'enseignement supérieur et la recherche.

**Proposition IV.7 page 68**

Mieux soutenir les femmes en retour de congé de maternité dans l'enseignement supérieur et la recherche.

**Proposition IV.8 page 69**

Créer des bourses doctorales réservées aux femmes.

## **Mathématiques et enseignement**

### **Conception, mise en œuvre et suivi des réformes**

**Proposition V.1 page 94**

Élargir la gouvernance du système en associant effectivement la communauté de l'enseignement des mathématiques à la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des réformes et, plus largement, des politiques publiques les concernant.

### **Relations entre les mathématiques, la société et les autres disciplines**

**Proposition V.2 page 97**

Tant dans l'enseignement secondaire que dans l'enseignement supérieur, dédier des temps à des travaux pratiques de mathématiques ou au développement de projets interdisciplinaires.

**Proposition V.3 page 98**

Avoir une réflexion nationale impliquant les acteurs de terrain sur la place des travaux pratiques et des projets interdisciplinaires au sein des licences de mathématiques.

**Proposition V.4 page 98**

Développer une offre de formation continue répondant aux attentes du monde professionnel.

---

## Formation initiale et continue et développement professionnel des enseignants en mathématiques

### Proposition V.5 page 99

Dans les parcours préparatoires au professorat des écoles : introduire de la didactique dans les cours de mathématiques et ne pas se contenter de refaire aux étudiants de licence les cours qu'ils ont déjà suivis au collège.

### Proposition V.6 page 100

Revoir la nomenclature nationale des licences afin de permettre à des licences pluridisciplinaires, abordant à la fois des sciences et des humanités, de se développer plus facilement.

### Proposition V.7 page 100

Avoir une réflexion nationale impliquant les acteurs de terrain sur la place de la formation des enseignants dans les licences de mathématiques.

### Proposition V.8 page 101

En licence, mettre en place un système de pré-recrutement pérenne des futurs enseignants du secondaire.

### Proposition V.9 page 102

Recruter plus d'enseignants-chercheurs, ayant en particulier vocation à former les futurs enseignants.

### Proposition V.10 page 102

Soutenir le système de formation par les constellations, notamment par l'intervention et la formation des référents mathématiques de circonscription.

### Proposition V.11 page 103

Soutenir le développement des *labomaths*.

### Proposition V.12 page 103

Soutenir au niveau national le réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences, et institutionnaliser les liens avec les Écoles académiques de formation continue et les *labomaths*.

---

## Financement et organisation de la recherche en mathématiques

### Interactions

Proposition VI.1 page 112

Créer des « Maisons régionales des mathématiques » visant à promouvoir les interactions des mathématiques avec l'écosystème régional.

Proposition VI.2 page 113

Mettre en place (à toutes les échelles) un système d'évaluation basé sur une règle des « trois tiers » : recherche dans la discipline, impact en dehors de la discipline, formation.

### Attractivité

Proposition VI.3 page 114

Cibler des moyens importants pour créer un effet de levier en ouvrant un programme de chaires de très haut niveau international, en intensifiant l'ouverture de chaires professeurs junior, en offrant des moyens supplémentaires aux jeunes recrutés les plus dynamiques, en mettant en œuvre un programme de délégations longues assorties de moyens de recherche ambitieux.

## Mathématiques en prise avec le monde réel

Proposition VII.1 page 124

Renforcer l'appui en calcul scientifique et statistiques en recrutant plus d'ingénieurs et techniciens qui pourraient être affectés dans des unités d'appui et de recherche.

Proposition VII.2 page 125

Permettre un aménagement dans la scolarité pour inclure un stage long (un an) lors d'une thèse. Rallonger les financements de thèse d'une année au moins dans un premier temps pour des sujets nécessitant une culture pluridisciplinaire.

#### Proposition VII.3 page 126

Inciter tous les chercheurs et chercheuses à diffuser leurs productions (articles, pre-print, codes...) en accès ouvert le plus tôt et largement possible afin que leurs résultats puissent toucher des communautés « extra » disciplinaires; Encourager une édition scientifique multidisciplinaire, et une édition mathématique tournée vers les autres sciences.

#### Proposition VII.4 page 126

Augmenter la formation des étudiants à l'utilisation de logiciels de calcul, notamment en traitant des données non issues de contexte purement mathématiques. Développer l'utilisation d'outils d'assistance de preuve dans les enseignements, au moins dans un premier temps dans l'enseignement supérieur.

#### Proposition VII.5 page 127

Valoriser les débouchés offerts par les études en mathématiques.

#### Proposition VII.6 page 127

Valoriser les applications de la recherche en mathématiques en lien avec le système Terre (Terre vivante, Terre humaine et Terre fluide), notamment en favorisant la montée en puissance de l'Institut des mathématiques pour la planète Terre et en mettant en place un partage des documents produits lors d'enseignements sur ce système Terre.

#### Proposition VII.7 page 128

Mettre en avant les travaux scientifiques pour une meilleure visibilité par le grand public plutôt qu'une personne et penser à mieux panacher récompenses individuelles et récompenses collectives.

Les propositions formulées par le groupe de travail sont ambitieuses. Elles ne peuvent être mise en œuvre que si cesse la diminution des postes en mathématiques dans les universités. Les groupes de travail formulent donc la proposition transverse ci-dessous.

#### Proposition transverse

Augmenter significativement le nombre de postes ouverts aux concours de maîtres et maîtresses de conférences, de professeures et professeurs en mathématiques pour permettre la mise en œuvre des propositions ci-dessous et de celles de Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur visant à permettre à la France de ne pas perdre l'atout dont elle dispose avec les mathématiques.

---



# Partie I

Mathématiques et interdisci-  
plinarité

---



Le groupe de travail a été dirigé par :

- Nalini ANANTHARAMAN, professeure à l'Université de Strasbourg, professeure au Collège de France ;
- Pierre PANSU, professeur à l'Université Paris-Saclay.

Ils étaient accompagnés par :

- Michel BAUER, directeur de recherche au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ;
- Benoît DOUÇOT, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique ;
- Claire MATHIEU, directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique ;
- François ROGIER, ingénieur à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales.

## I.1. Diagnostic

### I.1.1. Le frein de la reconnaissance institutionnelle

#### Résumé

Malgré une mathématisation croissante des sciences, le travail interdisciplinaire des mathématiciens reste à la fois peu développé et freiné, notamment par la difficulté de faire reconnaître un travail qui demande du temps et peut ne pas être immédiatement productif dans les procédures d'évaluation.

La mathématisation des sciences est croissante depuis le 19<sup>e</sup> siècle, concernant d'abord la physique<sup>1</sup> puis d'autres domaines comme l'économie, ce mouvement se poursuivant actuellement avec une utilisation croissante de la modélisation mathématique en biologie. Le besoin augmente tant en matière de modèles théoriques rendant compte des phénomènes réels que de simulations numériques, avec la nécessité d'une bonne compréhension des algorithmes utilisés. Les autres sciences sont aussi en demande de savoir-faire mathématique face au besoin croissant d'analyse des données.

Jürg FRÖHLICH<sup>2</sup>, mathématicien et physicien, rappelle : « Il est arrivé assez souvent que des physiciens mathématiciens excellents (ex : Maxwell, Boltzmann, Gibbs, Poincaré, Einstein, Heisenberg, Dirac, von Neumann) aient proposé des idées qui se sont révélées extrêmement fructueuses pour le développement de la physique (notamment les théories de la relativité, mécanique quantique, mécanique statistique) et qui ont conduit à la découverte de nouvelles mathématiques (ex : théorie des représentations des groupes, analyse fonctionnelle, algèbres d'opérateurs, opérateur de Dirac, topologie algébrique, théorie des probabilités). » Cet intérêt croisé de chaque science à l'interdisciplinarité est aussi relevé par Stéphane GIRAUDIER<sup>3</sup> qui montre que travailler avec des mathématiciens ouvre des horizons et donne l'occasion de modifier la façon dont sont posées les questions, d'entendre des questions formulées de manière inédite, et donc de jeter un regard neuf sur un domaine. Il indique ainsi : « Je trouvais intéressant que ce soient les mathématiciens qui questionnent et que nous biologistes soyons amenés à faire les expériences pour répondre à leurs questions. » Le savoir-faire mathématique est unanimement reconnu comme étant une aide précieuse, il peut s'agir, selon les interlocuteurs,

1. L'optique, la mécanique et l'astronomie étant considérées avant le 19<sup>e</sup> siècle comme relevant des mathématiques et non des « sciences naturelles ».

2. Professeur émérite à l'École polytechnique fédérale de Zürich.

3. Professeur en hématologie, Hôpital Saint-Louis à Paris.

d'avoir des définitions et des démonstrations rigoureuses, ou des simulations numériques basées sur des algorithmes performants. Benoît DOUÇOT<sup>4</sup>, physicien, exprime cette nécessité : « Les mathématiciens passent leur temps à donner des définitions précises d'objets : ceci est important (...) Leurs expériences de pensée nous aident beaucoup. » Claire MATHIEU<sup>5</sup>, informaticienne insiste, elle, sur le risque de se passer de mathématiques avancées : « Attention lorsque l'horizon se limite à ce que l'on sait faire. Cela peut réduire la recherche d'algorithmes à ce qui est accessible par des mathématiques rudimentaires. Avec davantage de mathématiques, la recherche informatique serait meilleure. Justifier la complexité de l'algorithme nécessite rapidement des mathématiques difficiles. » Enfin, David HOLCMAN<sup>6</sup>, mathématicien conclut : « Sur 20 ans, grâce aux mathématiques, mon groupe a fait une dizaine de découvertes en biologie issues de la modélisation. »

Cependant, chaque science s'est davantage spécialisée, avec de plus en plus de difficultés à trouver un langage commun. De plus, les mathématiques, par leur côté abstrait, sont un sujet sur lequel il peut être difficile de communiquer. Ces deux points impliquent une difficulté à établir des collaborations interdisciplinaires. En France, de telles collaborations entre les mathématiques et beaucoup d'autres disciplines existent, mais seul un petit nombre de mathématiciens sont concernés, comme le confirme Mathieu LEWIN<sup>7</sup>, mathématicien : « Quand je travaillais pour la mission pour l'interdisciplinarité au Centre national de la recherche scientifique, j'ai constaté que les mathématiciens pouvaient intervenir sur tout, mais étaient très peu nombreux sur chaque sujet, et parfois difficiles à convaincre de candidater sur les appels à projets. » Il ajoute : « Les mathématiciens doivent être plus au fait de ce qui se passe dans les autres sciences. »

Les mathématiciens qui travaillent en collaboration avec d'autres disciplines doivent à la fois consacrer le temps nécessaire à acquérir des connaissances de base dans l'autre domaine, comprendre les problématiques de leur collaborateur, et savoir expliquer dans un langage partagé ce que les mathématiques peuvent apporter. Les entretiens menés tendent tous à dire qu'il n'est pas réaliste d'espérer qu'un scientifique d'un autre domaine puisse apprendre suffisamment de mathématiques pour préparer la collaboration ; il attend plutôt du mathématicien une capacité d'écoute et de compréhension de problèmes venus de l'extérieur. Benoît DOUÇOT, explique par exemple : « Jongler entre théorie générale et exemples, cela prend du temps, je peux à mon âge y consacrer du temps, mais les plus jeunes, non. (...) Le travail de mathématiques, c'est du temps. Quand on est jeune, on doit produire des résultats originaux rapidement. Faire des maths vient avec l'âge. »

Plusieurs entretiens pointent la haute valeur accordée par les mathématiciens à la « démonstration rigoureuse », qui parfois se fait au détriment de l'intérêt pour les phénomènes réels, et de certains types de savoir-faire mathématiques. Cette attention à la « rigueur » est particulièrement forte dans l'école française, reflet d'une force ou d'une faiblesse selon les points de vue.

Pour les collaborations interdisciplinaires, on compte souvent entre un et deux ans de discussions exploratoires (sans résultats immédiats) avant de pouvoir commencer une réelle collaboration. Philippe KOURILSKY, biologiste,<sup>8</sup> rapporte ainsi : « Entre un biologiste comme moi et un matheux, il faut un tiers, un intermédiaire. Avec mon collaborateur, nous avons passé deux ans avant d'arriver à nous comprendre. » Ces échelles de temps sont très difficiles

4. Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

5. Directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

6. Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique, mathématicien affecté à l'Institut de biologie de l'École normale supérieure.

7. Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

8. Membre de l'Académie des sciences et professeur honoraire au Collège de France.

à faire reconnaître institutionnellement, ce qu'indique la biologiste Meriem EL KAROUÏ<sup>9</sup> : « La collaboration avec ma collègue mathématicienne dure depuis très longtemps (...), elle est très riche et j'en suis très contente, mais, comme nous n'avons pas encore publié ensemble, il n'y a aucune reconnaissance de cette aventure, aucun endroit où valoriser ce travail. Si je l'avais fait quand j'étais postdoc, cela m'aurait pénalisée au lieu de faire avancer ma carrière. » Mathieu LEWIN abonde : « Je parle énormément avec les physiciens et les chimistes, mais je ne publie pas nécessairement avec eux. »

Une évaluation du travail scientifique de plus en plus axée sur la productivité (mesurée en termes de nombre d'articles) ne rend pas justice aux chercheurs qui prennent un risque et passent du temps à des activités exploratoires. La tendance à mesurer le travail scientifique en termes bibliométriques est internationale et tous les pays y sont peu à peu entraînés. Les chercheurs interrogés pointent tous la difficulté à faire évaluer le travail différemment que par des aspects quantitatifs. Pour le travail interdisciplinaire, on note aussi une difficulté à trouver des évaluateurs pour les dossiers soumis aux appels à projets et les dossiers de promotion accentuée par le découpage en sections du Conseil national des universités<sup>10</sup> et du Comité national de la recherche scientifique<sup>11</sup>. Davide FARANDA, chercheur en science du climat<sup>12</sup> explique : « Cela prend du temps et n'est pas tellement reconnu ni valorisé au Centre national de la recherche scientifique : pas de médailles dans les sections interdisciplinaires, comme la [commission interdisciplinaire] 52<sup>13</sup> qui m'a recruté. Celle-ci a un corps de chercheurs, mais l'évaluation passe aussi obligatoirement par une section disciplinaire. Le dispositif du Centre national de la recherche scientifique ne va pas jusqu'au bout. » Au contraire, aux États-Unis, l'existence de *joint appointments* (appartenance à deux départements simultanément, comme à Chicago, *New York University* ou *University of California Los Angeles*) démontre la possibilité de faire carrière dans deux disciplines et de façon reconnue par l'institution.

### I.1.2. Orientation pluridisciplinaire de la formation mathématique

#### Résumé

La formation pluridisciplinaire dans les premières années universitaires n'est pas aussi développée qu'en classes préparatoires aux grandes écoles. La tension sur les effectifs enseignants est un frein à un enseignement en binôme interdisciplinaire.

« La modélisation, c'est fournir des instruments de travail à des gens qui ne connaissent pas les maths. De la représentation, de la mise en visibilité. La biologie en a besoin (au moins plusieurs milliers de biologistes). » Philippe KOURILSKY nous presse d'élargir le public de la modélisation mathématique. Celle-ci doit devenir une des pierres angulaires de la formation des jeunes qui se destinent à une carrière mathématique.

En voici deux ingrédients importants :

- une sensibilisation à l'exploitation de données réelles, qui existe bien mais seulement à partir du master de mathématiques, et plutôt dans les parcours appliqués;

9. Professeure à l'Université d'Edinburgh.

10. Le Conseil national des universités est une instance nationale se prononçant sur les mesures individuelles relatives à la carrière des professeurs des universités et des maîtres de conférences.

11. Le Comité national de la recherche scientifique participe au recrutement et au suivi de la carrière des chercheurs du Centre national de la recherche scientifique et au suivi de l'activité des unités de recherche. Il s'appuie pour cela sur des sections disciplinaires (la section 41 pour les mathématiques) et commissions interdisciplinaires (CID). Ces dernières sont en particulier habilitées à co-évaluer l'activité scientifique des chercheurs qu'elles ont recrutés et se prononcer sur les demandes liées à leurs carrières.

12. Chargé de recherches au Centre national de la recherche scientifique.

13. La commission interdisciplinaire 52 a pour intitulé "Environnements sociétés : du savoir à l'action".

- une culture dans au moins une autre discipline scientifique, y compris dans ses aspects expérimentaux. Cela relèverait davantage du niveau licence, mais celles-ci tendent de plus en plus à un enseignement « monocolore ».

En particulier, les licences mentionnant mathématiques n'échappent pas à la règle, les maquettes comportent de moins en moins de cours d'autres disciplines, évolution que n'ont pas connue les classes préparatoires aux grandes écoles. Or, une des forces des universités, c'est leur capacité à faire se parler les disciplines au-delà de leur simple juxtaposition. Les doubles licences offrent cette formation, mais elles sont très exigeantes et ne s'adressent qu'à une fraction des futurs mathématiciennes et mathématiciens.

Le principal frein à la création d'enseignements interdisciplinaires<sup>14</sup> est la disponibilité des enseignants. Leur mise au point nécessite un fort investissement de plusieurs enseignants-chercheurs de disciplines différentes. En régime de croisière, la co-intervention (deux enseignants de disciplines différentes présents dans la salle) peut s'avérer nécessaire. Pour des raisons de coûts, la co-intervention est actuellement proscrite à l'université.

Le travail interdisciplinaire gagnerait aussi à une formation approfondie de plus d'élèves et étudiants aux mathématiques. Meriem EL KAROUÏ explique : « Depuis deux ans, on est en train de revoir l'enseignement de la biologie [à l'Université d'Edinburgh] parce que l'on s'est rendu compte qu'on ne formait pas assez nos étudiants aux méthodes quantitatives. (...) Au Royaume-Uni, c'est catastrophique : on peut arrêter de faire des maths à 15 ans et on peut parfaitement, après avoir arrêté de faire des maths au lycée, rentrer dans une licence de biologie. On fait un peu de remise à niveau mais ça n'est pas possible. »

Aux États-Unis, la *National Science Foundation* finance la montée en performance de l'enseignement supérieur en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques, avec un *Directorate for Education and Human Resources*<sup>15</sup> à égalité avec les six *Directorates* qui financent la recherche par grands domaines disciplinaires. Le budget du *Directorate for Education and Human Resources* de la *National Science Foundation* s'élève à plus d'un milliard de Dollars<sup>16</sup>.

La reconnaissance du caractère stratégique de l'enseignement des mathématiques dans les premières années d'université (qui remonte à la fin des années 1990) s'est donc traduite par une action très forte du gouvernement fédéral américain dans les deux décennies qui ont suivi, jusqu'à aujourd'hui. On lit par exemple dans une présentation<sup>17</sup> de la *National Science Foundation* : « C'est le moment de se concentrer sur les mathématiques au niveau du premier et du deuxième cycle. Les mathématiques sont essentielles à la préparation de la main-d'œuvre des sciences, technologie, ingénierie et mathématiques. » Cela s'est traduit par une affectation en 2014 de 7,5 % des budgets du *Directorate for Education and Human Resources* aux mathématiques, soit près de 67 millions de Dollars à l'époque.

14. C'est-à-dire ne juxtaposant pas simplement les disciplines mais les faisant travailler ensemble.

15. Désormais *Directorate for STEM Education* : <https://beta.nsf.gov/edu>.

16. Voir <https://www.nsf.gov/about/congress/119/highlights/cu22.jsp>.

17. Jim LEWIS. *National Science Foundation and Undergraduate Mathematics Education*. Octobre 2015.

## I.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### I.2.1. Favoriser le travail interdisciplinaire

#### Proposition I.1

Renforcer la communication entre scientifiques en favorisant la colocalisation et la double affiliation au niveau département, notamment *via* la création par le Centre national de la recherche scientifique de deux ou trois laboratoires interdisciplinaires impliquant des mathématiciens.

David HOLCMAN tire de son expérience le constat suivant : « Pour nous, le but de la modélisation, des maths appliquées, est de découvrir de nouvelles choses (phénomènes, principes, mécanismes du vivant). (...) Il faudrait faire vivre ensemble des scientifiques, jeunes et vieux, de toutes disciplines. Il faut développer une curiosité différente, par la vie sociale, et créer une atmosphère comme dans les collèges des universités de Cambridge ou Oxford. »

Le groupe de travail propose de favoriser la collaboration interdisciplinaire par la proximité physique des chercheurs (en les regroupant dans les mêmes espaces), pour des discussions plus fluides et une recherche de meilleure qualité, la proximité physique de scientifiques avec des profils divers (mathématicien, informaticien, biologiste) dans des espaces communs étant mentionnée comme la meilleure source de rapprochement et d'interaction. La création de laboratoires de recherche interdisciplinaires comprenant des mathématiciens en leur sein est donc à encourager. Dans un laboratoire regroupant plusieurs disciplines, la naissance de projets communs se fait librement par les rencontres entre collègues, sans contrainte, et pas systématiquement *via* des projets sur une échelle de temps prédéfinie.

En France, le Centre Borelli<sup>18</sup> (réunissant des chercheurs en mathématiques, en informatique et en neurosciences) en est un exemple. A l'étranger, l'Institut Weizman (Israël) ou le *Center for Computational Quantum Physics* financé par la *Simons Foundation* (Etats-Unis) sont cités en exemples. Sans qu'ils soient des centres de recherche permanents, les centres de rencontres scientifiques, tels l'Institut Henri Poincaré<sup>19</sup> ou le Centre international de rencontres mathématiques<sup>20</sup> qui organisent des conférences interdisciplinaires doivent continuer à être soutenus. Michael GHIL<sup>21</sup> témoigne : « À l'Institut Henri Poincaré, à l'automne 2019, j'ai dirigé durant un trimestre très intéressant, des travaux intitulés *CliMathParis*. Dans ce cadre, des mathématiciens qui connaissaient très bien les contributions de Poincaré à la compréhension du chaos déterministe – y compris en climatologie (voir le chapitre sur *Le Hasard* dans *Science et Méthode*) – ont rencontré des climatologues qui sont allés récemment plus loin dans les applications à ce domaine. » Michel BAUER<sup>22</sup> confirme : « L'Institut Henri Poincaré est un lieu

18. Le Centre Borelli est une unité mixte de recherche du Centre national de la recherche scientifique et de l'École normale supérieure Paris-Saclay en partenariat avec l'Institut national de la santé et de la recherche médicale, le Ministère des armées et l'Université Paris Cité. <https://centreborelli.ens-paris-saclay.fr/>.

19. L'Institut Henri Poincaré (IHP) est un centre de recherche international en mathématiques et physique théorique fondé par Émile Borel qui organise des rencontres scientifiques au cœur de Paris. Ses tutelles sont le Centre national de la recherche scientifique et Sorbonne Université. <https://www.ihp.fr/fr>.

20. Le Centre international de rencontres mathématiques (Cirm) est né en 1981, créé par la communauté mathématique française. Il est un centre d'accueil de conférences à Marseille. Ses tutelles sont Aix-Marseille Université, le Centre national de la recherche scientifique et la Société mathématique de France. <http://cirm-math.fr>.

21. Professeur émérite des sciences de la planète à l'École normale supérieure, *Distinguished Research Professor* à la *University of California Los Angeles*.

22. Directeur de recherche au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

d'échanges précieux. Il permet d'accueillir avec simplicité et un minimum de formalisme des événements très divers. J'ai participé à de nombreuses manifestations qui se tenaient dans ses murs, en particulier le remarquable groupe de travail "biologie et mathématiques" organisé durant plusieurs années par A. CARBONE, M. GROMOV et F. KEPES. »

Le groupe de travail recommande la création par le Centre national de la recherche scientifique de deux ou trois laboratoires interdisciplinaires impliquant des mathématiciens. Cela demande un travail d'identification des lieux et des thématiques propices, par exemple : modélisation des systèmes biologiques, calcul quantique (avec l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria)), mathématiques de la planète Terre. Le personnel de recherche de ces laboratoires proviendrait de ré déploiement mais la recommandation impose la création de postes d'appui.

Concernant la double affiliation, dans certains pays comme les États-Unis, existent des professeurs nommés de manière jointe (*joint appointments*) dans deux départements. Ce type de recrutement nécessite de la part des départements concernés un travail de prospective important. Dans le système français, on pourrait imaginer que des postes relevant de disciplines autres que les mathématiques, mais souhaitant développer de la recherche à l'interface, soient consacrés à des recrutements de mathématiciens. Les universités ont commencé à pratiquer de tels recrutements (en psychologie à Montpellier, en santé publique à Paris-Saclay, en médecine à Strasbourg...), mais avant tout pour subvenir à des besoins d'enseignement. Il est tout aussi légitime de prendre en compte les besoins de la recherche. D'ailleurs, le Centre national de la recherche scientifique affecte chaque année un ou deux mathématiciens dans des laboratoires d'une autre discipline que les mathématiques. Réciproquement, un ou deux non-mathématiciens sont recrutés et affectés dans des unités de mathématiques. Le groupe de travail suggère d'aller au delà en affectant ces personnels dans deux laboratoires, même si leur lieu de travail quotidien n'est pas le laboratoire relevant de leur discipline d'origine.

### Proposition I.2

Favoriser les décharges d'enseignement pour la recherche interdisciplinaire.

Les décharges de services, c'est-à-dire la diminution du nombre d'heures à enseigner devant les étudiants, restent la meilleure manière de soulager les enseignants-chercheurs de services d'enseignements et de tâches administratives souvent conséquents, et au global plus lourds que dans d'autres pays comparables. Cette offre de temps dédié à la recherche est indispensable pour le développement d'une recherche interdisciplinaire.

Le groupe de travail propose que les décharges puissent être accordées à au moins trois niveaux : ministère, universités et Centre national de la recherche scientifique, grâce à des appels à projets légers et ne demandant pas, même implicitement, que le projet ait déjà commencé.

Sur le modèle des décharges accordées aux membres de l'Institut universitaire de France, le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche pourrait disposer d'un contingent supplémentaire de financements pour les mathématiques au profit des chercheurs dont l'activité présente une composante exploratoire interdisciplinaire, sans que ce contingent ne soit engagé aux dépens de la recherche disciplinaire.

Les universités pourraient offrir des financements de bourses du type *Fellowships*, par exemple sur le modèle de ce que propose l'Université de Strasbourg *via* son Institut d'études avancées<sup>23</sup>. Ces bourses permettraient soit des invitations de longue durée de chercheurs extérieurs à l'université, soit des décharges pour des enseignants-chercheurs déjà sur place qui souhaiteraient développer une nouvelle direction de recherche. Typiquement, pour une grande université, il faudrait compter environ quinze bourses de deux ans attribuées chaque année, pour un coût unitaire allant jusqu'à 200 000 €, pouvant financer par exemple : l'achat de matériel, l'embauche de post-doctorants, la décharge d'enseignement.

Le comité propose enfin que l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions<sup>24</sup> offre des bourses similaires financées par le Centre national de la recherche scientifique au niveau national. Un pas en ce sens est fait par la mise en place de l'Institut des mathématiques pour la planète Terre, créé en 2021 et financé par plusieurs instituts du Centre national de la recherche scientifique et les universités Clermont Auvergne, Grenoble Alpes, Claude Bernard Lyon 1, Savoie Mont Blanc et l'École normale supérieure de Lyon.

### Proposition I.3

Organiser ou remodeler les modalités d'évaluation des travaux et des carrières des chercheurs travaillant en interdisciplinarité.

Nous proposons que soit constitué un groupe de travail issu des sections de mathématiques et de mathématiques appliquées et applications des mathématiques du Conseil national des universités (sections 25 et 26), de la section mathématiques du Conseil national de la recherche scientifique (section 41) et du Conseil scientifique de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (toutes instances constituées pour partie d'élus) qui présenterait les résultats de leur travail en assemblée générale de ces quatre instances et rédigerait un texte de recommandations largement diffusé (sociétés savantes, Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions...)

## I.2.2. Favoriser la formation à l'interdisciplinarité

### Proposition I.4

Financer une 4<sup>e</sup> année de thèse, prioritairement pour celles comportant une partie exploratoire importante et/ou une mobilité thématique.

Les contrats doctoraux français sont parmi les plus courts du monde<sup>25</sup>. Terminer en trois ans une thèse dans n'importe quelle discipline est rarissime. Pour une thèse véritablement interdisciplinaire, nécessitant des discussions entre des équipes de disciplines différentes, c'est impossible. L'accès facile à des financements pour une 4<sup>e</sup> voire 5<sup>e</sup> année de thèse est une condition importante pour que les thèses interdisciplinaires puissent mieux porter leurs fruits. David HOLCMAN témoigne « Dans ce champ de modélisation, analyse, simulation, analyse de

23. <https://www.usias.fr/fellows/fellows-2022/>.

24. La direction scientifique du Centre national de la recherche scientifique comprend dix instituts qui pilotent la stratégie de recherche de l'établissement et coordonnent les activités et les projets des laboratoires qui leurs sont rattachés. L'institut qui couvre le champ disciplinaire des mathématiques est l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions. Il a été investi, par un arrêté du 28 juin 2010, des missions nationales d'animation et de coordination dans le domaine des mathématiques.

25. On peut se reporter à la partie VII.1.3 page 120 pour une comparaison internationale.

données en biologie, il faut au moins quatre ans, pas trois. Je passe mon temps à chercher de l'argent pour payer les 4<sup>es</sup> années. Je pourrais écrire les maths à la place du doctorant, mais ça ne servirait à rien, il faut qu'il passe le temps nécessaire à maturer et être prêt pour développer les maths des nouvelles questions du futur, issues de la biologie. »

Le groupe de travail propose que soient financées des 4<sup>es</sup> années de thèse, en priorité pour celles comportant une partie exploratoire importante et/ou une mobilité thématique (pour des projets interdisciplinaires, ou des projets disciplinaires avec une prise de risque importante). Lors d'appels à candidatures légers, il sera notamment demandé de justifier que le début de la thèse a nécessité l'apprentissage de notions d'un autre domaine.

### Proposition I.5

Promouvoir et enseigner la modélisation mathématique dès l'année de licence.

L'objectif de la proposition est d'augmenter le nombre d'enseignements de licence dans les universités où les disciplines interagissent, autour de la modélisation mathématique. Le bénéfice visé est triple :

- mieux former les futurs mathématiciens et mathématiciennes;
- faire prendre conscience de la puissance de la modélisation mathématique dans les sciences à un large public d'étudiants;
- rapprocher de la modélisation mathématique les enseignants-chercheurs de différentes disciplines, notamment celles qui nécessitent des traitements quantitatifs importants (par exemple la biologie et les sciences humaines et sociales).

À l'université, il est possible, dès la licence, de monter des enseignements où l'on pose des problèmes scientifiques (en biologie, chimie, informatique, physique, sciences de l'ingénieur, voire en sciences humaines), d'en présenter une modélisation, puis un traitement mathématique, une simulation numérique sur des données expérimentales réelles, jusqu'à l'interprétation, laquelle doit être faite par un spécialiste (celui qui a apporté les données). De tels enseignements peuvent donner lieu à une participation active d'étudiants (pédagogie et évaluation par projets, etc.). Pour cela, les enseignants-chercheurs qui s'investissent dans ce travail chronophage doivent obtenir une reconnaissance. Cela implique de changer le regard des départements universitaires sur la co-intervention.

Il s'agit en outre d'encourager les responsables de mentions de licence à insérer dans leur maquette de tels enseignements interdisciplinaires. Les doubles licences s'y prêtent bien, mais ces enseignements ont aussi leur place dans les mentions mono-disciplinaires.

Enfin, quand les conditions le permettent, on peut tenter de bâtir ces enseignements de telle sorte qu'ils puissent être mutualisés avec d'autres mentions de licence. En effet, mélanger des étudiants aux savoirs complémentaires autour de la modélisation mathématique est formateur pour tous.

Pour mettre en œuvre cette proposition, le groupe de travail propose de s'appuyer sur les appels à projets des universités favorisant l'innovation pédagogique. Il s'agit de convaincre les arbitres de ces appels qu'inclure la modélisation mathématique dans les enseignements de licence peuvent constituer de réelles innovations.



Le Ministère de l'enseignement supérieur peut aussi agir de façon nationale grâce à un appel à projets d'établissements qu'il financerait, à l'instar de ce que fait la *National Science Foundation* américaine. Il est conçu comme une incitation à une bonne pratique, à durée limitée. Il sera attendu des bénéficiaires de consacrer les ressources au développement de l'enseignement interdisciplinaire de la modélisation mathématique, et un engagement à pérenniser les enseignements créés.





# Partie II

**Mathématiques et économie**



Le groupe de travail a été dirigé par :

- Josselin GARNIER, professeur à l'École polytechnique ;
- Véronique MAUME-DESCHAMPS, professeure à l'Université Claude Bernard Lyon 1, directrice de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société de 2018 à 2022.

Ils étaient accompagnés par :

- Agathe GUILLOUX, professeure à l'Université d'Évry Val d'Essonne ;
- Mathilde MOUGEOT, professeure à l'École nationale supérieure d'informatique pour l'industrie et l'entreprise, titulaire de la chaire *IA for industry* ;
- Mark ASCH, professeur à l'Université de Picardie.

## II.1. Diagnostic

### II.1.1. Les besoins des entreprises

#### Résumé

Les entreprises expriment un besoin de mathématiques : tant comme outil de base pour l'ensemble de leur personnel que comme outil de la compétitivité et de l'innovation. Pour créer un pont entre entreprise et monde académique, les entreprises doivent pouvoir identifier les compétences des docteurs et docteuses qu'elles pourraient recruter. Ces compétences, si elles ne sont pas nécessairement techniques, devraient cependant contenir un minimum de capacité à traiter les données et à coder. Les besoins importants des entreprises en personnel qualifié en conjonction avec les faibles débouchés en recherche académique font cependant peser un risque sur le développement de la recherche en mathématiques.

Les entretiens menés par le groupe de travail ont clairement exprimé le caractère indispensable du bagage mathématique pour les salariées et salariés des entreprises à travers des affirmations du type : « L'innovation scientifique passe par les mathématiques, de façon très large » ou : « L'innovation à haut niveau ne peut se passer d'un bagage mathématique. »

Les entreprises ont des besoins clairs en ingénieures et ingénieurs. Laurent GIOVACHINI<sup>1</sup> affirme : « On est passé de 16 000 ingénieurs à 35 000 par an en quelques années et il faudrait aujourd'hui le double pour répondre aux besoins. » La formation des ingénieures et ingénieurs requiert un important bagage mathématique, bien sûr mais les entretiens ont révélé qu'une sensibilisation de l'ensemble des salariées et salariés aux mathématiques est aussi nécessaire : des services de production aux services de commercialisation des produits, les mathématiques sont présentes de façon implicite à tous les étages. La capacité à conduire des analyses sur des bases de données et des faits disparates détermine la capacité à détecter, à anticiper d'éventuels problèmes et à prendre les bonnes décisions.

Les entreprises ont aussi besoin de chercheurs et chercheuses ou de collaborations avec des chercheurs et chercheuses académiques. Laurent GIOVACHINI poursuit : « On a besoin de scientifiques, de mathématiciens, d'ingénieurs, de chercheurs qui soient plus nombreux et mieux considérés. » Ces besoins sont nécessaires au cœur même de l'activité de l'entreprise pour :

1. Directeur général adjoint de Sopra Steria, président de la fédération Syntec, membre du bureau et du conseil exécutif du Medef et président du comité « Souveraineté et sécurité économique des entreprises » du Medef.

- rester compétitif. Afin de maintenir la production française à un haut niveau de compétitivité, les systèmes de production doivent être évalués en continu. La robotisation et la mécanisation qui permettent d'augmenter les rendements reposent directement ou indirectement sur des concepts issus des mathématiques. Le bagage mathématique est indispensable et dans certains cas l'utilisation d'outils spécifiques nécessite des connaissances poussées en mathématiques. Le manque de maîtrise de ces outils peut amener à réduire les industriels français à une position de sous-traitants vis-à-vis des acteurs du domaine maîtrisant la technologie;
- développer de nouveaux outils et de nouveaux services. Les mathématiques contribuent à concevoir de nouveaux produits et sont largement utilisées pour la conception de nouveaux services ou produits, jusqu'à leur optimisation et la démonstration de leurs qualités par l'analyse des données issues du terrain et la modélisation empirique ou physique des phénomènes.

Pourtant, une spécificité française est l'existence de deux mondes, le monde des ingénieurs et ingénieurs formés dans les grandes écoles et le monde des universitaires. Laurent GIOVACHINI conclut : « Aujourd'hui, les chercheurs doivent servir de pont entre les deux mondes, ce pont n'est aujourd'hui qu'une petite passerelle. » Ce point est confirmé par Éric MONCHALIN<sup>2</sup> qui souligne, à l'instar d'autres entretiens que les relations entre la recherche publique et les entreprises ne sont pas aussi fortes qu'on peut l'espérer : « En France l'industrie et le monde de la recherche ont eu historiquement des difficultés à coopérer efficacement. »

Les difficultés identifiées sont essentiellement liées aux problèmes d'alignement temporel des tâches, des types de solutions recherchées (voir la partie II.1.4 page 32), de la perception de la valeur ajoutée des chercheurs et chercheuses et en particulier des étudiantes et étudiants formés par la recherche. Liva RALAIVOLA<sup>3</sup> explicite cette valeur ajoutée : « On ne sait pas qualifier l'expertise d'un chercheur qui a fini sa thèse, mais ce que l'on sait c'est qu'il a une ténacité et une culture de la curiosité. On lui demande de développer une vision, de savoir situer son travail dans le paysage scientifique de sa communauté et de développer une réflexion sur l'impact plus large de ses contributions, sur d'autres communautés scientifiques que la sienne et sur la société en général; ce travail permanent de mise en perspective est propre aux chercheurs. »

Mais, plusieurs intervenants ont exprimé la nécessité d'une culture des données et d'un minimum de compétences en codage. Jean-Philippe BOUCHAUD<sup>4</sup> explique par exemple que : « L'essor du *machine learning* et de l'analyse des données est un mouvement mondial et non un effet de mode, il devient nécessaire pour tous les étudiants de s'y former un minimum. » Magnus FONTES<sup>5</sup> complète en indiquant qu'il « ne recrute que des chercheurs sachant coder et travailler avec des données ».

Terminons en mentionnant que la croissance des besoins des entreprises peut avoir un impact négatif sur la recherche et, dans un mouvement de retour, sur les entreprises. Certains intervenants (Jean-Pierre BOURGUIGNON<sup>6</sup> en particulier) ont en effet souligné : « On est actuellement confronté à un effet de tenaille sur la recherche, avec d'une part une conjoncture

2. Vice-président, *Head of Machine Intelligence* chez Atos.

3. Directeur du laboratoire de recherche IA de Criteo.

4. Physicien, membre de l'Académie des sciences, président de *Capital Fund Management*.

5. Directeur général de l'Institut Roche.

6. Mathématicien, ancien président du Conseil européen de la recherche (ERC), président du conseil d'administration de l'Université de Munich (Allemagne).

difficile pour les postes qui peut décourager de jeunes doctorantes et doctorants devant les faibles perspectives de débouchés dans le monde académique et, d'autre part, le besoin grandissant de jeunes talents au sein des entreprises, qui les poussent à recruter avant la thèse. »

### II.1.2. Les attentes des académiques

#### Résumé

Environ 15 % des mathématiciennes et mathématiciens académiques sont impliqués dans des collaborations avec des entreprises. C'est peu mais pour la plupart, l'engagement est durable et repose essentiellement sur la curiosité, l'intérêt scientifique pour des problématiques à finalité économique et la confrontation avec d'autres impératifs et méthodes de travail.

Dans une enquête sociologique récente<sup>7</sup>, Géraldine FAVRE interroge les raisons qui poussent les chercheurs et chercheuses académiques à s'engager dans des relations avec les entreprises.

La motivation principale est la curiosité, l'intérêt scientifique pour des problématiques à finalité économique et la confrontation avec d'autres impératifs et méthodes de travail. La motivation financière (crédits de recherche) existe, mais n'apparaît pas déterminante.

Une fois engagées, les relations avec les entreprises perdurent et deviennent constitutives de l'activité de recherche (on peut dire qu'elles constituent un « état absorbant »). Il peut y avoir des relations de long terme avec une entreprise particulière ou des relations multiples de plus ou moins long terme, suivant les cas. On constate une faible prise en compte ou valorisation des collaborations avec les entreprises dans la carrière des chercheurs et chercheuses. Environ 15 % des mathématiciennes et mathématiciens académiques sont impliqués dans des collaborations avec des entreprises, c'est insuffisant pour répondre à toutes les sollicitations intéressantes de celles-ci.

### II.1.3. Les mathématiques, expression des souverainetés nationale et européenne

#### Résumé

Les souverainetés nationale et européenne reposent sur les mathématiques et le rôle de l'État « stratège » est majeur. Elles sont aussi essentielles pour assurer l'indépendance de la France dans les domaines de la sécurité.

L'importance des mathématiques pour la compétitivité des entreprises françaises et européennes a été mentionnée de nombreuses fois lors des entretiens. Tous les acteurs ont intérêt à collaborer sur le sujet et l'implication de l'État est ici essentielle. Laurent GIOVACHINI rapporte : « On a besoin d'un État stratège et avisé. » Ce constat est rapidement effectué dans les industries de haute technologie, en particulier celles liées à l'intelligence artificielle et aux données. Il a aussi été mis en avant par des entreprises traditionnelles, y compris des petites et moyennes entreprises.

Là encore, le besoin des mathématiques au niveau basique et expert est attesté :

7. Géraldine FAVRE. « Vie et métamorphoses dans un monde numérique, le travail mathématique à l'épreuve des collaborations avec les entreprises ». 2022. <https://www.agence-maths-entreprises.fr/public/pages/actualites/fait-marquant/fm-154.html>.

- il a été noté que la relocalisation et la réindustrialisation ne pouvaient pas se faire uniquement sur le front de la réduction des coûts, qui serait une bataille perdue d'avance, mais sur l'innovation et la technologie (par exemple, la robotisation et mécanisation), autant de choses qui reposent sur les mathématiques et nécessitent à la fois des expertes et experts pointus et des membres du personnel ayant un minimum de maîtrise des outils et techniques employés;
- il a aussi été souligné qu'une perte de niveau en mathématiques des jeunes formés aujourd'hui serait dramatique. François ASSELIN<sup>8</sup> rapporte : « La connaissance pourrait suivre la délocalisation physique de nos usines. » André COLOM<sup>9</sup> confirme : « L'absence des maths, c'est la mort des entreprises et surtout la mort des entreprises françaises, car les autres continuent, eux, à faire des maths. »

Enfin, le vice-amiral d'escadre (2<sup>e</sup> section) Arnaud COUSTILLIÈRE montre que les mathématiques sont un élément essentiel pour assurer l'indépendance de la France dans les domaines de la sécurité : « La cybersécurité est un élément clef dans le débat sur la souveraineté ; l'école de mathématiques française, par sa qualité, devrait permettre notre indépendance dans ce domaine (...) Casser les maths c'est casser la crypto donc des outils nationaux et européens pour garantir la confiance dans le numérique et les chiffrements souverains. Casser les maths c'est diminuer les flux d'élèves vers les écoles d'ingénieurs...Casser les maths c'est accepter l'hégémonie d'autres partenaires dans le numérique. »

#### II.1.4. Aligner les attentes des industriels et des académiques

##### Résumé

Les attentes des industriels et des académiques doivent pouvoir trouver des espaces d'alignement alors que les approches, les formulations des problèmes et les constantes de temps peuvent diverger. Des espaces reposant sur la création d'interfaces d'échanges s'avèrent nécessaires pour l'acquisition d'une culture commune.

Un écart considérable existe souvent entre les attentes des industriels et celles des académiques. Les missions des uns et des autres n'étant pas les mêmes, cet écart n'est pas surprenant. Mais il constitue une barrière importante à la collaboration et il faut être capable de construire des espaces d'alignement.

Le groupe de travail a identifié les caractéristiques suivantes de l'alignement :

1. la formulation d'un problème industriel doit pouvoir recevoir une formulation académique;
2. les délais nécessaires, ou souhaités, pour la résolution d'un problème doivent être alignés. C'est le problème des « constantes de temps » qui se résume en l'antagonisme suivant :
  - quelle solution la recherche académique peut-elle proposer dans un délai donné ?
  - quelle solution l'entreprise peut-elle attendre dans un délai donné ?
3. les approches doivent pouvoir être alignées alors qu'elles sont a priori peu cohérentes. L'entreprise cherche avant tout une solution qui fonctionne dans les délais impartis, y compris si elle n'utilise que des méthodes bien connues des académiques, alors que la recherche académique vise avant tout le développement de connaissances nouvelles.

Les actions suivantes semblent favorables à la construction de ces espaces d'alignement :

- utilisation des lieux d'échanges ;

8. Président de la Confédération des petites et moyennes entreprises.

9. Il fait l'essentiel de sa carrière chez Michelin, occupant notamment de 2018 à 2022 le poste de *Data science and scientific computing director*.



- montée en puissance des formations continues délivrées par les académiques aux personnels des industries;
- présentation des enjeux industriels dans les enseignements universitaires de la licence au master, par des exemples d'applications (*success stories*);
- invitations régulières de personnel des entreprises en cours universitaires, pour faire des présentations devant les étudiantes et étudiants. Et vice-versa, invitations des académiques (et étudiantes et étudiants) dans l'univers industriel.

## II.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### II.2.1. Dispositifs existants

Les dispositifs qui facilitent les relations et collaborations entre le monde académique et les entreprises sont nombreux, ont été cités en particulier les thèses Cifre<sup>10</sup> et les thèses de droit privé, les chaires, le crédit-impôt recherche, les laboratoires communs.

Les personnes rencontrées ont cependant, dans leur grande majorité, insisté sur le fait que ces dispositifs étaient mal connus, notamment des petites et moyennes entreprises. Elles ont également regretté la complexité et la lourdeur de mise en œuvre ainsi qu'une temporalité qui ne correspond pas aux attentes des entreprises.

Certains soulignent des difficultés liées à la gestion de la propriété intellectuelle, surtout du côté académique et dans les premières phases d'une collaboration, alors que les industriels, y compris des petites et moyennes entreprises, font appel à des cabinets extérieurs pour régler cela. Ils souhaitent plus généralement la mise en place de contrats et de nouveaux modes de collaboration assortis de procédures simplifiées et efficaces.

Les principaux leviers cités pour renforcer les liens entre les entreprises et le monde académique sont :

- pour les entreprises, recruter davantage de docteurs et doctores - comme cela est le cas dans beaucoup d'autres pays - et encourager leurs collaborateurs et collaboratrices à intervenir dans les formations universitaires et à se former tout au long de leur carrière;
- pour les académiques, il est souhaitable d'inclure davantage d'industriels dans leurs formations que ce soit pour dispenser des cours ou pour participer aux conseils de perfectionnement. Cela permettrait d'être plus proches des attentes des entreprises. Un autre levier serait de proposer plus de journées, conférences « mathématiques et entreprises » et de défis de type *hackathon*.

### II.2.2. Aligner les attentes

#### Proposition II.1

Développer un réseau d'ingénierie et de lieux de rencontres, éléments constitutifs des « Maisons régionales des mathématiques ».

10. Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre) permet à l'entreprise de bénéficier d'une aide financière pour recruter un jeune doctorant ou une jeune doctorante dont les travaux de recherche, encadrés par un laboratoire public de recherche, conduiront à la soutenance d'une thèse.

Pour faire face à la ressource humaine limitée en chercheurs et chercheuses qui souhaitent développer des relations avec les entreprises, le groupe de travail recommande de constituer un groupe d'ingénieures et ingénieurs d'appui à la recherche. Ceux-ci pourraient accompagner et être complémentaires aux chercheurs et chercheuses en prenant en charge des tâches relevant plus de l'ingénierie (par exemple : acquisition de données, mise en œuvre d'une preuve de concept, optimisation de code) et en jouant un rôle dans l'alignement nécessaire entre la recherche académique et les services de recherche et développement des entreprises.

Le groupe de travail recommande que ce groupe d'ingénieures et ingénieurs d'appui à la recherche soit constitué en réseau, les différentes personnes étant affectées à l'Agence pour les mathématiques en interactions avec l'entreprise et la société<sup>11</sup> et à certaines plateformes du réseau des Maisons de la modélisation, simulation et de l'optimisation<sup>12</sup>. Ces personnes seraient mises à disposition de l'ensemble des unités de recherche d'une région (voire au-delà dans certains cas). Cela éviterait que doivent être financés et mis en place des contrats de courte durée pour des projets spécifiques (postes dont la précarité rend difficile de les pourvoir). Un tel dispositif permettrait ainsi d'offrir aux projets une expertise de quelques mois portées par des personnes ayant acquis l'expérience des collaborations de recherche mathématique avec des entreprises et compétentes sur différents champs mathématiques.

Le premier pas vers des relations plus fluides entre académiques et industriels est la familiarisation et la reconnaissance mutuelles. À partir de là peuvent être bâties des collaborations sous toutes leurs formes. Le groupe de travail recommande donc de mettre en place des lieux d'échanges et d'alignement, qui n'auraient pas prétention à résoudre directement les problèmes industriels « brûlants » mais plutôt à offrir un cadre permanent permettant :

1. d'échanger sur les dernières avancées dans un domaine donné (sorte de formation continue ponctuelle) ;
2. de formuler un problème (sans résolution) en abordant les questions d'horizon de résolution possible (les « constantes de temps ») ;
3. d'orchestrer des collaborations mentionnées dans les autres préconisations (conseil, formation, thèses Cifre, etc.).

Ces « lieux » prendront la forme de séminaires thématiques réguliers où seront abordés des sujets d'intérêt mutuel, au sein de Maisons régionales des mathématiques dont la création est aussi formulée par le groupe de travail « Financement et organisation de la recherche en mathématiques » (voir la proposition VI.1 page 112). Ces actions pourront s'appuyer sur des structures existantes pour l'organisation et la promotion, par exemple, sur des Chambres de commerce et d'industrie. Une fois que les Maisons régionales des mathématiques auront permis à des académiques et des entrepreneurs de se rencontrer et de formuler un problème commun, elle pourront les orienter vers les structures permettant d'obtenir les moyens de résoudre ce problème (par exemple l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société, le Grand équipement national de calcul intensif...). Les Maisons régionales des mathématiques seront aussi les relais pour la déclinaison locale des actions proposées par l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société, telles que les Semaines d'étude mathématiques - entreprises<sup>13</sup>.

11. Unité d'appui et de recherche du Centre national de la recherche scientifique et de l'Université Grenoble Alpes.

12. Le réseau des Maisons de la modélisation, simulation et de l'optimisation (MSO-DE) fédère les structures qui développent, localement, des relations entre entreprises et équipes de recherche en mathématiques.

13. Les Semaines d'étude mathématiques - entreprises réunissent, autour de sujets exploratoires, des entreprises et des jeunes chercheurs et chercheuses (doctorat en cours ou récent). Des industriels viennent présenter des problèmes ouverts, dont la formulation même n'est pas toujours aboutie, sur lesquels travaillent de petits groupes de jeunes chercheurs et chercheuses pendant une semaine. L'objectif est de proposer des embryons de solutions ou des pistes possibles.

### II.2.3. Lever les obstacles institutionnels

#### Proposition II.2

Faciliter un dispositif de conseil en entreprise pour les doctorantes et doctorants.

Les interactions avec les entreprises pour les doctorantes, doctorants, jeunes docteurs et docteurs (en postdoctorat) par des missions de doctorat-conseil ou des césures devraient être augmentées.

Le doctorat-conseil est une mise à disposition de l'entreprise par une université qui emploie le doctorant ou la doctorante pour 32 jours sur une année universitaire. Les missions peuvent être très variées, par exemple : valorisation, mission d'expertise, études de faisabilité, diffusion de l'information scientifique et technique, formation, veille technologique, veille scientifique ou réglementaire, recherches bibliographiques, état de l'art sur un sujet.

Ce dispositif est très sous utilisé en mathématiques en raison de la complexité administrative de sa mise en œuvre et de la difficulté à faire coïncider le planning d'une thèse avec les besoins des entreprises. Enfin, les doctorantes et doctorants en mathématiques fondamentales ne se sentent pas du tout concernés.

Plusieurs axes sont à explorer pour répondre aux problématiques :

1. mettre en place une procédure simple qui ne demande que la validation par la directeur ou la directrice de thèse et du laboratoire;
2. impliquer les laboratoires et les écoles doctorales dans la mise en œuvre du dispositif;
3. prévoir un accompagnement spécifique pour les doctorantes et doctorants qui se sentent le plus éloignés des entreprises en les encourageant à participer à des Semaines d'étude mathématiques - entreprises, forums professionnels, etc.;
4. prendre en compte systématiquement toutes les activités et actions en lien avec les entreprises comme formations transverses des écoles doctorales.

#### Proposition II.3

Faciliter la contractualisation avec les entreprises, lever les obstacles administratifs à une collaboration qui démarre.

Il est important d'établir une porosité entre le monde des entreprises et le monde de la recherche. En entreprise, les ingénieures et ingénieurs ont souvent pour objectif d'apporter des solutions à la résolution de problèmes posés par l'extérieur (concurrence, marché, clients...) dans un délai contraint, pour cela des outils déjà existants peuvent être privilégiés. Les chercheurs et chercheuses en mathématiques vont apporter des réponses à des questions qu'ils ont pu trouver au sein ou en dehors de leur discipline, mais leur motivation principale est le développement des connaissances et le repoussement de frontières, qui requièrent l'introduction de nouveaux outils, techniques et concepts. Pour faciliter la compréhension par le monde de l'entreprise et la recherche publique de la culture de l'autre, et pour favoriser la construction d'une culture commune, il faut faciliter la mise en place de structures de recherche mixte. Pour que les échanges portent leurs fruits, ces structures doivent avoir une durée de fonctionnement longue, de 8 à 10 ans.

Pour cela, il est impératif que la contractualisation passe par des structures privées adossées aux universités ou organismes de recherche, apportant plus d'agilité pour mettre en place les collaborations et s'adapter aux règles très différentes de comptabilité publique et privée. Afin de ne pas ajouter à la complexité d'un paysage de l'innovation déjà jugé trop compliqué<sup>14</sup>, des filiales d'université ou les Sociétés d'accélération du transfert de technologie peuvent s'en charger, à condition de ne pas attendre un retour économique disproportionné et d'accepter une gestion de la propriété intellectuelle simplifiée (prévoir une discussion sur cet aspect si c'est justifié mais ne pas mettre des clauses très contraignantes a priori alors qu'il n'y a pas d'objet). Une structure nationale telle que l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société avec des moyens renforcés pourrait se charger des discussions sur la gestion de la propriété intellectuelle et sur les autres aspects de la contractualisation.

La communication sur les dispositifs de collaborations déjà existants doit être renforcée. Il existe une grande disparité entre les entreprises dans la connaissance des dispositifs de collaboration entre le monde académique et le monde de l'entreprise. Il est important que l'existence de ces dispositifs soit régulièrement rappelée par les acteurs académiques. Des structures visant à promouvoir les échanges se chargent déjà de promouvoir ces dispositifs (l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société par exemple), mais d'autres entités, plus proches, pourraient s'en charger.

Afin de rapprocher les communautés en fluidifiant les échanges avec l'objectif de faciliter les collaborations, le groupe de travail propose de favoriser la représentation d'entreprises dans les instances académiques, à tous les niveaux. Les conseils d'administration, les conseils de mise en place des enseignements, les conseils de formation pédagogique pourraient accueillir des représentants des entreprises. Un rapprochement des acteurs permettrait ainsi de faciliter la mise en place de collaborations (positions mixtes privées / académiques).

#### Proposition II.4

Mieux prendre en compte les relations avec les entreprises dans l'évaluation des carrières académiques, notamment par :

- la mise en place de chaires innovation spécifiques aux mathématiques ;
- la création d'un dispositif de mise à disposition des entreprises des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs ;
- une meilleure prise en compte des périodes consacrées à l'entreprise (années sabbatiques en entreprise, création d'entreprise, etc.).

Seuls 15 % des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs, chercheurs et chercheuses en mathématiques sont impliqués d'une manière ou d'une autre dans des collaborations maths-entreprises, l'objectif est donc de motiver les deux parties (académiques et entreprises) à mieux collaborer.

Pour les académiques, il apparaît important de prendre en compte dans l'évaluation des carrières le temps et l'énergie passés dans des collaborations avec des entreprises, comme on peut prendre en compte aujourd'hui le temps passé sur des montages de projets d'enseignement ou de recherche. Pour cela, le groupe de travail propose de :

14. Voir par exemple la recommandation n° 18 du « Rapport d'information fait au nom de la commission des finances sur les sociétés d'accélération du transfert de technologies (SATT), par M. Philippe Adnot, Sénateur ». <https://www.senat.fr/rap/r16-683/r16-6830.html>.

1. développer un dispositif inspiré des chaires innovation de l'Institut universitaire de France (interdisciplinaires) spécifique aux mathématiques (ces chaires pourraient par exemple être accueillie par un Institut mathématique de France sous une forme administrative à définir). Pour rappel, 10 positions juniors et 10 positions seniors sont proposées cette année, toutes disciplines confondues par l'Institut universitaire de France, ce qui n'est clairement pas suffisant pour modifier la dynamique. Vingt chaires innovation pour les mathématiques seraient nécessaires :
  - des chaires d'initiation seraient particulièrement adaptées pour amorcer les collaborations mathématiques-entreprises, comme souligné précédemment,
  - des chaires de développement permettraient en particulier de fonder et pérenniser des structures de collaboration (formation de laboratoires communs par exemple),
  - l'obtention d'une chaire serait une marque visible pour un enseignant-chercheur ou une enseignante-chercheuse facilement prise en compte dans l'évaluation de sa carrière (comme toute chaire de l'Institut universitaire de France);
2. concevoir un dispositif mettant à disposition (à temps partiel ou total) des enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs qui seraient pris en charge sur des lignes budgétaires de contrats de recherche financés par des entreprises ;
3. permettre de prendre en compte des années sabbatiques, des périodes en entreprise ou encore de création de *startups* dans la progression de carrière des chercheurs, chercheuses, enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs.







# Partie III

Mathématiques et société







Le groupe de travail a été dirigé par :

- Thierry HORSIN, professeur au Conservatoire national des arts et métiers;
- Rémi MONASSON, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

Ils étaient accompagnés par :

- Aline DESESQUELLES, directrice de recherche, directrice déléguée à la recherche de l'Institut national d'études démographiques;
- Gaël OCTAVIA, directrice de la communication à la Fondation des sciences mathématiques de Paris.

## III.1. Diagnostic

### III.1.1. Un paradoxe saisissant : nécessité grandissante des mathématiques dans tous les domaines vs méconnaissance et défiance du grand-public

#### Résumé

Le groupe de travail a relevé un paradoxe saisissant. Alors qu'apparaît la nécessité grandissante des mathématiques dans tous les domaines, alors qu'elles semblent un atout pour la bonne santé de la démocratie, une méconnaissance et une défiance tout aussi grandissante s'emparent du grand-public.

#### III.1.1.1. Des usages de plus en plus diversifiés

Jamais les besoins en mathématiques n'ont été aussi prégnants qu'aujourd'hui. Dans un monde en transition demandeur d'innovations technologiques, la France a besoin de disposer d'un vivier d'ingénieurs et d'ingénieures, de chercheurs et chercheuses, d'enseignantes et d'enseignants, ayant des connaissances et des pratiques de très haut niveau. Pour Sylvie GRANET<sup>1</sup> : « Les mathématiques constituent un langage commun et structurant : elles permettent de pouvoir échanger avec toutes les spécialités d'ingénierie. »

L'usage des mathématiques déborde depuis longtemps des domaines relevant des sciences de l'ingénieur. Modélisation, simulations, calcul, etc., les mathématiques permettent par exemple aux entreprises de minimiser de nombreux coûts et d'améliorer leurs performances. L'usage des mathématiques est aussi très répandu dans les sciences du vivant (médecine, biologie, génétique, etc.) et en sciences sociales (sociologie, démographie, économie, géographie, etc.). Au sujet de l'interaction avec les sciences sociales, Adrian RAFTERY<sup>2</sup> voit dans la symbiose entre le milieu académique et la société un aspect fondamental et il considère, compte tenu de l'apport des sciences à la société : « Il est crucial de pouvoir mener une carrière académique "libre" et une carrière en entreprise. » Il ajoute : « l'apport de l'aléatoire (statistiques en particulier) aux études sociologiques est un véritable plus, par exemple dans les modèles étudiant les déplacements démographiques ou dans l'étude des réseaux sociaux. » Il loue cette symbiose (en tant que mathématicienne ou mathématicien on peut agir sur la recherche interdisciplinaire car on peut parler à tout le monde) et conclue : « La création, dans les années 1990, de laboratoires et de postes interdisciplinaires (dont les mathématiques) aux États-Unis a été véritablement bénéfique. »

1. Ingénieure-chercheuse, recherche et développement, EDF.

2. Professor of Statistics and Sociology et Adjunct Professor of Atmospheric Sciences à University of Washington.

Le développement de systèmes experts fortement mathématisés est un autre exemple d'utilisation des mathématiques. Dans le domaine juridique, une société comme *Case Law Analytics* propose ainsi un outil d'assistance juridique. De tels outils, ou d'autres, peuvent permettre d'accélérer les procédures et contribuer à désengorger les tribunaux pour des affaires simples dont les dénouements sont prédictibles et incitent donc à la transaction. Jean LASSEGUE<sup>3</sup> cite, par exemple : « Sur le règlement des litiges, il ne s'agit pas de se substituer au juge. Dans des entreprises de commerce à distance par exemple, certaines affaires (ponctualité, confusion entre produits, etc.) sont assez simples pour être traitées efficacement de façon automatique et elles le sont déjà, mais il faut garder la possibilité de faire intervenir un jugement humain y compris dans des affaires qui paraissent simples : dans le cas d'un conflit de voisinage (par exemple une branche d'arbre qui dépasse d'un jardin ou du tapage nocturne), ce n'est pas la même chose de traiter une affaire de façon ponctuelle ou s'il s'agit d'une accumulation de faits qui dure depuis dix ans et qui peut faire jurisprudence. Cela met en jeu des facteurs humains non modélisables qui doivent être laissés à l'appréciation d'un juge, mais l'objectivation mathématique de certaines données permet de se faire une idée des résultats d'une procédure et il y a là quelque chose de nouveau. » Pour les juristes de *Case Law Analytics* : « De la même manière que le mathématicien devrait toujours s'imprégner des enseignements des juristes afin de construire un modèle pertinent, une formation en mathématiques pourrait permettre à un juriste d'éviter des erreurs d'interprétation des résultats probabilistes. »

Les mathématiques s'emparant de tels sujets, il semble nécessaire d'engager une réflexion sur l'éthique de ces pratiques professionnelles nouvelles. « Même si, selon Agnès VERNET<sup>4</sup>, les professionnels des mathématiques apparaissent avoir un comportement éthique, notamment durant la pandémie de SARS-Cov2, des raccourcis peuvent être faits sur l'utilisation des mathématiques dans certains domaines. Cette méconnaissance du sujet peut nuire à l'image des professionnels des mathématiques (...) L'émergence rapide d'outils qui s'appuient sur les mathématiques (intelligence artificielle, algorithmique, modélisation globale...) invite également les professionnels des mathématiques à porter cette réflexion éthique ».

### III.1.1.2. Les mathématiques, une nécessité citoyenne

Le savoir en mathématiques est aussi une nécessité citoyenne : la crise sanitaire récente nous a rappelé combien le manque de culture scientifique permet toutes les dérives irrationnelles et engendre des incompréhensions dans la population. Être capable d'établir un raisonnement logique, de comprendre ce que sont des probabilités conditionnelles, d'évaluer la fiabilité d'un sondage, de manipuler des ordres de grandeurs... sont des conditions *sine qua non* pour être pleinement citoyen ou citoyenne au 21<sup>e</sup> siècle. La capacité de raisonnement ou de déductibilité que confèrent les mathématiques a été soulignée par toutes les personnes interviewées. Ce savoir peut contribuer à améliorer le débat démocratique dans la société.

Pour Anne SIETY<sup>5</sup> : « Cette capacité sert à construire librement sa propre opinion. » Dans son travail, elle met en valeur comment cette capacité de raisonnement et de déductibilité permet de surmonter le sentiment négatif que les mathématiques peuvent inspirer. Tout en faisant une distinction importante entre nombres et mathématiques (la confusion entre l'un et l'autre est fréquente), Olivier MARTIN<sup>6</sup> insiste sur la « nécessité d'une éducation aux

3. Philosophe et épistémologue, chargé de recherche au Centre national de la recherche scientifique affecté au « Centre Georg Simmel. Recherches franco-allemandes en sciences sociales » et membre statutaire du laboratoire « Linguistique Anthropologique et Sociolinguistique »).

4. Journaliste scientifique, présidente de l'Association des journalistes scientifiques de la presse d'information.

5. Psychologue spécialisée dans l'aversion aux mathématiques.

6. Professeur à l'Université Paris-Cité, directeur du Centre de recherche sur les liens sociaux (CERLIS - Unité mixte de recherches ayant pour tutelles le Centre national de la recherche scientifique, l'Université Paris-Cité & l'Université Sorbonne Nouvelle).

nombres». Rose-Marie FARINELLA<sup>7</sup>, estime également : « La sensibilisation des enfants et des adultes aux nombres et au raisonnement mathématique est importante pour la société. » Elle constate que l'apprentissage du raisonnement chez les élèves de primaire est très bien reçu indistinctement de leur origine sociale ou de leur sexe (elle précise qu'elle a officié dans une petite ville socialement et politiquement hétérogène), et elle n'a jamais reçu de retour négatif de la part des parents sur le travail sur les *fake-news* qu'elle effectue avec ses élèves. La rigueur de l'enchaînement logique qu'elle enseigne à ses élèves ou à des collègues, doit intégrer les mathématiques, par exemple sur la taille et la représentativité des échantillons.

Le Service de vigilance et de protection contre les ingérences numériques étrangères (Viginum) qui est chargé de mesurer l'impact d'une fausse information ou d'une fausse rumeur en particulier dans la lutte contre les attaques venues de l'étranger est fortement mathématisé, même si en son sein, la différence entre mathématiques et informatique est perçue, semble-t-il au groupe de travail, de manière ténue. Gabriel FERRIOL<sup>8</sup> pense : « Les mathématiques développent l'esprit critique. Elles sont aussi une façon d'exprimer une forme de créativité, dans la construction mathématique, à la convergence de la découverte et de l'invention. » Il ajoute : « Les mathématiques sont également très utilisées pour la correction des biais liés à l'observation humaine. Elles aident à prendre de la distance par rapport à une situation observée. Pour Viginum, les mathématiques se présentent donc comme un outil au service de l'investigation numérique et viennent compléter l'analyse géopolitique. » Selon lui : « La démocratie n'est pas un acquis et doit être protégée. Viginum s'attache à protéger les conditions dans lesquelles le débat public numérique se noue. »

Les sondages ont une place particulière dans ce panorama et il est difficile de savoir s'ils sont un bénéfice ou un danger pour la démocratie, surtout à l'heure où les données massives bousculent les professionnels des sondages. On peut cependant se féliciter que des instituts de sondage tels que Médiamétrie sachent se prémunir contre les dérives, *via* la Commission nationale de l'informatique et des libertés ou en étant très proches du monde académique des statistiques. Aurélie VANHEUVERZWYN<sup>9</sup> pense d'ailleurs : « Il serait bon que les sociétés savantes de mathématiques éclairent le grand public sur les limites et précautions à prendre dans l'analyse des sondages, omniprésents dans notre société. » Les professionnels des sondages politiques devraient cependant davantage présenter leurs méthodes et les limites de celles-ci, d'autant que les réponses des personnes sondées sont sujettes à des biais de désirabilité<sup>10</sup>.

### III.1.1.3. Méconnaissance et défiance

Le contraste est saisissant entre d'une part la nécessité croissante des mathématiques et d'autre part l'état actuel des connaissances et le manque d'appétence d'une partie très importante du grand public.

Frédéric BRECHENMACHER<sup>11</sup> rappelle : « Pendant très longtemps, le savoir mathématique en France a fait partie de la culture classique. Connaître l'incommensurabilité de la diagonale d'un carré par rapport à son côté était un peu du même ordre que connaître la dramaturgie grecque. » Or, poursuit-il : « Cette culture classique est en perte de vitesse, notamment dans l'enseignement. » Ce phénomène concerne tant les mathématiques que le grec ou le latin, ou

7. Professeure des écoles.

8. Chef du service de vigilance et de protection contre les ingérences numériques étrangères.

9. Directrice Exécutive - Data Science chez Médiamétrie.

10. Biais de vouloir se présenter sous un jour favorable.

11. Professeur d'histoire des sciences, École polytechnique.

même encore la littérature ancienne. « Cela affecte un certain nombre d'éléments, comme la pratique de la preuve dans l'enseignement, qui est moindre et tend à présent à favoriser des mathématiques plus techniques et algorithmiques, qui ne se situent pas dans l'héritage direct de l'antiquité grecque. »

Beaucoup ignorent, se méfient, ou parfois même rejettent les mathématiques, en les assimilant à des souvenirs souvent peu agréables d'apprentissages scolaires lointains. Philippe PAJOT<sup>12</sup>, note : « les probabilités et les statistiques sont probablement les sujets les plus en prise avec le quotidien, mais que les notions de moyenne et de variance par exemple sont inconnues du plus grand nombre. » Pour Frédéric BRECHENMACHER encore : « La représentation que le grand public se fait des mathématiques est abstraite, décousue, et finalement n'ayant pas grand sens : la perception dominante des mathématiques par les gens est celle d'une discipline scolaire et d'une représentation médiatique axée sur les nombres, et les choses ne sont pas liées entre elles. »

Les mathématiques ont été justement reconnues depuis des siècles par une élite éclairée comme un formidable outil d'épanouissement intellectuel et même d'émancipation sociale. Elles ne sont cependant pas naturellement considérées par tous et toutes comme un élément essentiel de la culture, au même titre que la littérature, la philosophie, la musique, la peinture ou le théâtre.

### III.1.2. À la recherche de causes et de leviers pour réagir

#### Résumé

La défiance et le manque de goût envers les mathématiques résultent de causes multiples. En particulier, les déséquilibres flagrants en termes de parité et de diversité parmi les élèves ou étudiantes et étudiants en mathématiques résultent de mécanismes complexes, dont l'identification et la compréhension sont indispensables si l'on veut parvenir à les surmonter.

#### III.1.2.1. Le rôle de l'environnement familial

D'après la sociologue Clémence PERRONNET<sup>13</sup>, le goût des sciences en général s'acquiert non seulement à l'école mais aussi et surtout en famille, à travers des pratiques de loisir (lectures, ateliers, jeux, clubs, etc.). Les jeunes issus de familles ou d'environnements où cette culture scientifique n'existe pas, où il n'y a aucune lecture, aucun jeu, voient leur attirance pour les sciences pénalisée dès le départ. « L'intensité de la relation entre le milieu socio-économique et la performance en mathématiques est particulièrement marquée en France. Le France est le pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques dans lequel l'équité devant les mathématiques s'est la plus dégradée depuis 2003. » Ceci est notamment montré par le classement Pisa<sup>14</sup>.

D'après Frédéric BRECHENMACHER : « Il est crucial de s'assurer que les mathématiques pénètrent toutes les échelles de la diversité et des valeurs sociales. » Mais il estime aussi : « Comprendre la perception des mathématiques en fonction du genre ou du milieu social est compliqué même si des études récentes en ce sens ont été faites. »

12. Journaliste à « La Recherche ».

13. Maîtresse de conférences en sciences de l'éducation à l'Université Catholique de l'Ouest.

14. Le programme international pour le suivi des acquis des élèves Pisa (*Programme for International Student Assessment*) est mené par l'Organisation de coopération et de développement économiques avec l'objectif de mesurer les performances des systèmes éducatifs.

### III.1.2.2. L'image du scientifique

L'image de la ou du scientifique véhiculée par la communauté scientifique elle-même ou les médias est problématique. Clémence PERRONNET précise : « À l'école primaire, les filles ne sont pas moins investies ou curieuses des sciences que les garçons, mais que plus elles s'intéressent aux sciences, plus elles se heurtent à une image dans laquelle elles ne se reconnaissent pas, à savoir des hommes, âgés, solitaires (alors que les normes sociales inscrivent la sociabilité, l'intérêt – voire le soin – pour les autres, comme caractéristiques de l'identité féminine). Il y a donc un conflit de normes, à un moment de la vie où il y a une recherche d'identité. »

« Si les filles sont d'abord exclues sur des critères de genre, les garçons sont plutôt exclus sur des critères de classe. » Le scientifique est perçu comme poursuivant un parcours d'excellence depuis son plus jeune âge. Il y a une contradiction entre le vécu de garçons qui peuvent avoir eu de mauvaises notes en mathématiques à un moment de leur parcours et l'image de scientifiques au parcours sans faute, ayant fait des études à rallonge. En outre : « À intérêt ou performance équivalente, la réussite d'un garçon de milieu populaire (surtout s'il est immigré ou descendant d'immigré) va trouver sa traduction dans une carrière technique ("il fera un bon technicien") et non dans une carrière scientifique ("il ferait un grand astrophysicien"). »

« L'impossibilité pour ces groupes de population sous-représentés dans les disciplines scientifiques de s'identifier avec les mathématiciennes et mathématiciens a un impact dévastateur sur les futures vocations. » Frédéric BRECHENMACHER est cependant réservé sur l'avantage qu'il y aurait à mettre en avant des icônes des mathématiques qui seraient, par exemple, des femmes. Cette « héroïsation » peut renforcer l'idée d'une discipline inaccessible au commun des mortels. Pour Clémence PERRONNET : « Une première étape pour lutter contre les verrous qui éloignent notamment les filles et les jeunes de classes populaires des mathématiques est d'abord de prendre conscience de ces verrous.(...) L'une des particularités de la société française est de se persuader qu'elle ne crée pas d'inégalités. » Selon elle, il faut montrer les mathématiques et les faire incarner par une diversité de femmes et d'hommes, avec des individus travaillant seuls et d'autres impliqués dans un travail collectif, éviter de ne montrer que les parcours d'excellence (Écoles normales supérieures, etc.) et valoriser celui de personnes qui y sont arrivées par des moyens plus lents. Elle cite en exemple l'association de diffusion de culture scientifique Traces, qui s'attache à « construire des projets scientifiques afin de permettre la diffusion des mathématiques dans les lieux de vie ».

Clémence PERRONNET poursuit : « De nombreuses initiatives cherchant à combattre ces stéréotypes et à rendre les mathématiques plus accessibles existent. Les sociétés savantes, les associations jouent un rôle prépondérant dans cet effort. » Des initiatives originales, associées au monde artistique permettent de casser l'image habituelle des sciences et des mathématiques dans le public scolaire ou adulte, et de les présenter sous une forme pouvant susciter la curiosité et l'intérêt. Dans ces conditions exceptionnelles peut se révéler, même chez des publics *a priori* éloignés des pratiques scientifiques, une envie de mieux connaître les mathématiques. Thibault ROSSIGNEUX<sup>15</sup>, estime : « Les mathématiques ou les professionnels des mathématiques font peur. » Cette appréhension passée, il n'a pu que se féliciter de son expérience avec Nicole EL KAROUI<sup>16</sup>. De son expérience proche ou personnelle, il pense que « la froideur avec laquelle sont enseignées les mathématiques est un véritable problème » alors qu'il constate et se félicite du succès que des spectacles qu'il organise auprès des milieux ruraux ou dans des zones urbaines réputées difficiles. Elisabeth BOUCHAUD<sup>17</sup>, constate de

15. Comédien et metteur en scène, créateur de l'initiative « Binôme » (qui met en relation un ou une scientifique et un ou une dramaturge pour créer une pièce de théâtre).

16. Professeure émérite à Sorbonne Université.

17. Directrice du théâtre de la Reine Blanche.

même qu'à l'école primaire la théâtralisation des sciences facilite la lutte contre l'appréhension vis-à-vis de celles-ci, y compris pour les professeurs des écoles qui accompagnent les élèves. « Il n'y a pas de distinctions sociales ou de genre dans l'appétence vers les sciences via l'approche théâtrale » constate-t-elle. Les élèves n'ont plus peur des sciences après cet acte de mise en scène. Cette approche théâtrale permet aussi d'attirer dans un lieu qui lui est non dédié, un public qui n'est pas convaincu d'avance de l'utilité de la science ou même de sa beauté. Il en ressort très souvent avec une vision beaucoup plus positive, l'humour ou une description beaucoup plus humaine des scientifiques, par exemple en proie à leurs démons, y contribuant. Elle pense que la combinaison « intermittent du spectacle et scientifique » pourrait facilement généraliser son approche y compris dans des endroits sans théâtre à proximité.

### III.1.2.3. L'enseignement des mathématiques à l'école

Les personnes interviewées soulignent un certain nombre de difficultés liées à l'enseignement ou au recrutement des enseignantes et enseignants. La psychologue Anne SIETY regrette : « Seuls quelques lycées maintiennent ou parviennent à maintenir des enseignements de mathématiques où la démonstration et la capacité de réflexions priment sur des questions juridiques (“ai-je le droit de faire telle ou telle chose ?”). » Elle estime qu'il est possible de se « rattraper » en mathématiques, que « le décrochage n'est pas structurellement définitif ». Pour Rose-Marie FARINELLA, « L'apprentissage des mathématiques doit être fait quasi-quotidiennement à l'école primaire et régulièrement au collège et au lycée où il devrait se nourrir d'exemples concrets. » Étienne GHYS<sup>18</sup> indique : « Au niveau du collège et du lycée, une partie plus importante des maths devrait être enseignée en interaction avec les autres sciences. Cela vaut en particulier pour les élèves qui ne deviendront pas scientifiques. »

Citant l'excellent travail d'émissions comme « C'est pas sorcier », pourtant peu soutenues en termes de moyens, le journaliste scientifique Philippe PAJOT, pense qu'« il faut développer des contenus et utiliser des médias spécifiques (par exemple plateforme “TikTok”, réseaux sociaux) pour intéresser les jeunes aux sciences, avec l'aide de figures scientifiques médiatiques connues ». Le constat de l'impénétrabilité apparente des mathématiques est particulièrement bien connu chez d'autres scientifiques, comme les biologistes par exemple. Toute manière d'enseigner ou de faire interagir les mathématiques avec d'autres domaines (arts, sport, etc.) est donc bonne à prendre pour briser l'image négative de cette aura des mathématiques. La médiation et la diffusion de la culture scientifique via des scénarios nouveaux ou originaux est donc un outil important qu'il faut encourager.

Pour Frédéric BRECHENMACHER : « Il est important que les enseignants de lycée et collège, puissent trouver des espaces de “recherche” en mathématique et sur l'enseignement des mathématiques, dans leur temps de travail. (...) D'un point de vue contenu des enseignements en collège et lycée, une mise en perspective historique et de l'interaction avec la société (dont les mathématiques au service de l'écologie, des questions climatiques, sociologiques, etc.) devrait pouvoir aider à faire apparaître les mathématiques comme autre chose qu'un objet de sélection. »

D'après Sylvie GRANET : « L'apport structurant des mathématiques peut justifier que cet outil de sélection n'apparaisse pas déplacé (ou pas plus que d'autres), tout en incitant à cultiver l'idée, principalement au lycée, que les mathématiques ouvrent à une multitude de domaines autres que le simple fait de pouvoir faire des études d'ingénieur. » Selon elle : « LA notion d'ingénieur reste abstraite au lycée. » Dans la comparaison avec d'autres pays, si les ingénieurs et ingénieurs formés en France apparaissent avoir un bagage théorique en mathématiques plus

18. Directeur de recherche émérite au Centre national de la recherche scientifique, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

important que les homologues d'autres pays, elle note que ces derniers font, en conséquence, plus souvent appel au monde académique mathématique pour les aider justement là où le besoin de nouveauté mathématique se fait sentir. Sans regretter sa formation théorique de très haut niveau, elle pense : « Il faut du temps, lors une formation d'ingénieur [ou universitaire] à la française, pour faire le lien entre des notions abstraites et la mise en œuvre numérique. »

#### III.1.2.4. Les mathématiques dans les médias

D'après Philippe PAJOT : « La plupart des journalistes et organes de presse (à l'exception des publications spécialisées) pensent que les mathématiques n'intéressent pas la majorité du public, qu'elles sont clivantes, ne plaisent qu'aux convaincus. » La journaliste Corinne VANMERRIS<sup>19</sup> relate : « Avec la crise Covid, à l'École supérieure de journalisme on s'est aperçu des lacunes des journalistes dans le domaine de la santé, on avait fait le même constat en 2008 en économie au moment de la crise financière. » Elle explique que beaucoup des étudiantes et étudiants de l'École supérieure de journalisme ont suivi un enseignement mathématique poussé (bac S pour les promotions sortantes), mais que cela est davantage dû à la forte sélectivité du concours qui draine des étudiants déjà brillants dans leur première partie de cursus et qui avaient choisi la filière S davantage en raison de son côté sélectif que par réel intérêt scientifique. De plus, les jeunes qui ont la vocation de devenir journalistes ont rarement l'idée de se former en sciences. Il est rare qu'un jeune qui souhaite être journaliste s'oriente par exemple vers la biologie dans l'idée de faire du journalisme thématique par la suite. Elle admet : « Ce que l'on ne connaît pas on n'y pense pas. C'est le même problème que pour la couverture des quartiers populaires, où les journalistes habitent peu. Cela crée des biais. » Elle ajoute cependant : « Les critères de choix de l'information ne sont pas faits uniquement en raison de l'audience. Il faut mettre, en sciences, des politiques volontaristes. (...) Les sujets scientifiques intéressent tous les citoyens et c'est la responsabilité des journalistes que de les rendre accessibles. »

Corinne VANMERRIS souligne les innovations faites par son établissement pour améliorer le niveau scientifique général des étudiantes et étudiants en journalisme, qui ont pour la plupart une faible culture mathématique, et créer des cursus spécifiques de journalisme des données avec des connaissances pratiques solides pour le traitement statistique de l'information. Il a été décidé qu'en 2022, les profils scientifiques qui souhaitent intégrer la profession de journaliste scientifique pourront avoir accès à une formation d'un an au métier du journalisme, puis intégreront une filière dédiée en seconde année où se mélangent profils sciences vers journalisme et journalisme vers sciences, afin de permettre une montée en gamme scientifique adossée à une logique d'émulation croisée. Par ailleurs : « L'École supérieure de journalisme a pris l'initiative de monter conjointement avec l'Université Paris-Saclay un master "Climat et Médias" qui a pour but donner aux journalistes les éléments nécessaires à la compréhension des enjeux et des faits sur le climat (et l'environnement) ». Corinne VANMERRIS insiste également sur le « besoin de former les journalistes déjà en poste, pas seulement les jeunes. Par exemple, Radio France souhaite actuellement former tous ses journalistes aux sciences. »

Selon Étienne GHYS : « La communauté mathématique doit évoluer dans sa façon d'interagir avec les journalistes. L'interaction devrait être bilatérale et les mathématiciens doivent comprendre que les journalistes ont une compétence qu'ils n'ont pas. »

---

19. Directrice adjointe et directrice des études de l'École supérieure de journalisme de Lille.

## III.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### Proposition III.1

Mieux faire connaître l'utilité des mathématiques, par une mise en avant de parcours attractifs ou originaux, une meilleure communication sur les sujets de société pour lesquels les mathématiques jouent un rôle et en proposant des formations initiales et continues.

Pour informer et promouvoir sur l'utilité des mathématiques dans la société, le groupe de travail identifie quatre axes :

- faire la publicité de parcours attractifs ou originaux de mathématiciennes et mathématiciens auprès de publics divers (au sein des laboratoires, des universités, dans l'espace médiatique, au niveau des instances politiques territoriales, etc.);
- proposer des formations continues (même courtes) à destination d'un certain nombre de professions (journalisme et sciences politiques en particulier);
- proposer des formations initiales *ad hoc* dans un certain nombre de cursus (droit, sociologie, sciences politiques, journalisme, etc.);
- utiliser les sociétés savantes pour communiquer sur les sujets de société (presse, sondages, élections, technologies, climat, écologie, biologie, médecine, sociologie, etc.) qui mettent en jeu des mathématiques.

La mise en œuvre de cette proposition repose sur :

- une campagne de dissémination et sensibilisation par an auprès du grand public;
- une campagne ciblée à destination des lycéennes et lycéens, étudiantes et étudiants relayée par les ministères en charge de l'enseignement et de l'enseignement supérieur;
- la mobilisation d'enseignantes et enseignants, par exemple dans le cadre d'un projet pilote avec l'École supérieure de journalisme de Lille et en partenariat avec l'Institut des hautes études scientifiques et technique;
- la mobilisation d'une personne à plein temps en charge de communication.

### Proposition III.2

Changer l'image du mathématicien et de la mathématicienne, en prenant garde de montrer la diversité plutôt que l'héroïsation, en favorisant les interactions et en développant des recherches sociologiques sur la réception et la compréhension des mathématiques.

Pour répondre à la figure du scientifique inaccessible et combattre les stéréotypes, le groupe propose d'explorer les trois pistes suivantes :

- faire la publicité de parcours attractifs ou originaux de mathématiciennes et mathématiciens incarnés par une diversité de femmes et d'hommes, dans des contextes de travail variés, auprès de publics divers (au sein des laboratoires, des universités, dans l'espace médiatique, au niveau des instances politiques territoriales, corps intermédiaires). Eviter de ne montrer que les parcours d'excellence tendant à l'héroïsation, pour mieux valoriser celui de personnes qui y sont arrivées par des moyens plus lents;
- favoriser les interactions des mathématiciennes et mathématiciens avec les autres disciplines (scientifiques, artistiques, sciences humaines et sociales);
- développer des recherches sociologiques (enquêtes quantitatives et/ou qualitatives) sur la réception et la compréhension des mathématiques, de leur usage dans la société.



**Proposition III.3**

Investir les lieux culturels et les nouveaux supports de diffusion et, pour favoriser cet investissement, mieux reconnaître le travail d'interaction des scientifiques avec la société.

Pour aller à la rencontre du grand public, le groupe de travail recommande deux actions :

- investir les lieux culturels, comme les musées, théâtres, l'audiovisuel (notamment public) pour faire interagir l'art avec la science dans des lieux généralement déconnectés de toute vision scientifique. Renforcer également le travail des structures et les initiatives existantes (voir les expériences en théâtre et dramaturgie proposées respectivement par Thibault ROSSIGNEUX et Elisabeth BOUCHAUD évoquées dans la partie III.1.2.2 page 45) ;
- investir les nouveaux supports (YouTube, TikTok, etc.) pour toucher le grand public et les jeunes.

Une manière d'inciter les professionnels des mathématiques à participer serait de prendre en compte dans l'évolution de leurs carrières ces efforts d'aide à la diffusion de la culture scientifique (comparer avec la proposition II.4 page 36 concernant les interactions avec les entreprises). Cette piste de solution visant à instaurer les mathématiques comme pratique culturelle devra être soutenue par la création (qu'il faudra financer) de contenus culturels.

**Proposition III.4**

Décloisonner les mathématiques.

Pour décroisonner les mathématiques et inciter les mathématiciennes et mathématiciens à interagir avec les milieux socio-éducatifs et dans lieux de proximité, le groupe de travail propose les cinq pistes d'action suivantes :

- interagir avec les milieux socio-éducatifs des collectivités locales en apportant leur aide à la création de tiers lieux scientifiques (développement de clubs de « mathématiques ordinaires » sur le modèle des clubs d'échecs ou de sport), pour le maintien de liens et d'attractions envers les sciences, ainsi que la détection des talents ;
- organiser des événements (concours) pour repérer des talents, y compris à vocation ludique. L'organisation de concours dans toutes les communes tels que ceux pratiqués en Allemagne via des « clubs de maths » peut permettre à des jeunes qui auraient les capacités de faire des études scientifiques d'y parvenir quel que soit leur genre ou leur milieu social ;
- poursuivre le travail institutionnel, des sociétés savantes et des associations en faveur de la parité et de la diversité ;
- inciter à présenter les enjeux d'interaction des mathématiques (climat, biologie, écologie, technologie, sociologie, etc.) dans les enseignements de mathématiques dès que possible, et en particulier au lycée.

Cette proposition impose de prévoir des moyens pour rémunérer ou inclure dans les services des enseignantes et enseignants du primaire, du secondaire et du supérieur, doctorantes et doctorants, étudiantes et étudiants, animateurs et animatrices afin de :

- fournir 4 heures de prestation hebdomadaire au clubs de mathématiques ;
- animer localement des concours à vocation ludique.

Il faudra prévoir des campagnes de communication, le soutien à la logistique des clubs et la préparation de leurs travaux.

**Proposition III.5**

Donner un cadre à la réflexion sur l'éthique des mathématiques en mettant en place un comité d'éthique des mathématiques.

Dans l'interaction entre les mathématiques et société, la question de l'éthique revient constamment, notamment concernant les usages (ex : mathématiques financières, management algorithmique). Afin de garantir leur caractère éthique, la mise en place d'un comité d'éthique des mathématiques sur le modèle du comité de bioéthique, qui rendrait des avis sur des sujets mettant en jeu les liens entre mathématiques et société, serait de nature à créer le cadre d'une réflexion.

The background features a central vertical axis with a dotted pattern that tapers towards the top and bottom. This axis is flanked by two large, colorful, abstract shapes that resemble stylized wings or petals. The left side of the image is a solid light blue gradient, while the right side is a light orange gradient. The central dotted pattern is composed of small black dots arranged in a grid-like structure that narrows as it moves away from the center.

# Partie IV

**Mathématiques et attractivité des carrières**



Le groupe de travail a été dirigé par :

- Gérard BESSON, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique;
- Robert YUNCKEN, professeur à l'Université de Lorraine.

Ils étaient accompagnés par :

- Hervé KERIVIN, maître de conférences à l'Université Clermont Auvergne;
- Stéphanie SALMON, professeure à l'Université de Reims Champagne-Ardenne;
- Jean-Marc SCHLENKER, professeur à l'Université du Luxembourg;
- Sylvia SERFATY, *Silver Professor, Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.*

## IV.1. Diagnostic

### IV.1.1. Mobilité entre le monde académique et l'industrie, place des doctorants

#### Résumé

L'insertion des docteurs en mathématiques dans l'entreprise est beaucoup plus compliquée en France que dans d'autres pays. La réussite de cette insertion passe par une capacité minimum à mettre en œuvre des apprentissages théoriques. Il existe également peu d'exemples d'insertion de personnels de l'entreprise dans le monde académique, les cas existants résultent de contrats de professeurs associés ou de la participation à un laboratoire commun.

Le groupe de travail s'est penché sur l'insertion en entreprise (dans les métiers des services financiers, de l'assurance ou du conseil mais aussi de la biotechnologie ou de l'intelligence artificielle) des diplômés de master ou doctorat de mathématiques. Il note la faible transition de ces étudiants, notamment ceux formés en mathématiques fondamentales, vers l'entreprise. En vue de la rapide évolution mondiale des industries vers une forte implication des sciences mathématiques, une étude détaillée des débouchés des doctorants mathématiques serait pertinente pour déterminer si les compétences des nouveaux diplômés français sont mises en valeur.

Jean-Pierre BOURGUIGNON<sup>1</sup> mentionne : « Il y a une employabilité difficile des doctorants et doctorantes dans l'industrie française (surtout en mathématiques pures). Cela contraste considérablement avec ce qui est observé ailleurs en Europe (Allemagne, Suisse, Grande-Bretagne) ou en Amérique du Nord. » Sylvie GRANET<sup>2</sup> relève : « Les entreprises américaines et britanniques se tournent assez facilement vers les savoirs de l'université, ce qui n'est pas le cas en France. » Ce constat rejoint une opinion de Jean-Pierre BOURGUIGNON selon laquelle : « Il existe une tradition parmi les industriels français de démarcher naturellement les personnes issues des grandes écoles, plutôt que dans les universités, malgré une ouverture progressive des doctorats afin de les valoriser dans le champ de l'industrie.(...) Il n'est pas rare en effet aux Etats-Unis d'observer des entreprises venir faire des présentations dans des départements de mathématiques avec des offres de collaborations aux étudiants voire aux enseignants-chercheurs. » Un président et un recteur d'universités allemandes confirme qu'en Allemagne, l'insertion des docteurs en entreprises est « plus facile et naturelle ». Pour le Royaume-Uni, Angleterre,

1. Mathématicien, ancien président du Conseil européen de la recherche (ERC), président du conseil d'administration de l'Université de Munich (Allemagne).

2. Ingénieure-chercheuse R&D chez EDF, département Mécanique et modèles numériques.

John GREENLESS<sup>3</sup> mentionne : « Un grand nombre de doctorants de l'université de Warwick partent travailler dans l'industrie, en Suisse et même en Suède. Cette tendance concerne notamment des enseignants-chercheurs meneurs dans leur discipline et qui sont prescripteurs de tendances. »

Pour palier ce défaut d'employabilité, plusieurs personnes interviewées (par exemple Jean-Pierre BOUCHAUD<sup>4</sup>, Dirck HARTMANN<sup>5</sup> ou Magnus FONTES<sup>6</sup>) ont mis en avant la nécessité de développer une compétence de mise en œuvre des apprentissages théoriques. Une de ces personnes déclare par exemple : « L'absence de cette compétence développement, programmation et traitement de données chez de nombreux mathématiciens (et pas seulement les mathématiciens "fondamentaux") semble rédhibitoire pour un recrutement sur de nombreux postes industriels. »

Si le système de bourses Cifre<sup>7</sup> permet de connecter les mondes académiques et industriel par l'insertion précoce de doctorants en entreprises, il ne s'adresse qu'à un nombre restreint d'étudiants se prédestinant au travail en entreprise, sur des sujets spécifiques. Selon un constat unanime, le dispositif semble peu connu des très petites et petites entreprises.

Le groupe de travail n'a trouvé que peu d'exemples en mathématiques fondamentales ou appliquées, de retour vers le monde académique de mathématiciens actifs dans l'industrie. De tels retours existent cependant de façon indirecte grâce à des postes de professeurs associés. Thierry RONCALLI<sup>8</sup> estime que c'est le cas de plusieurs de ses collègues, et Dirck HARTMANN évoque également quelques collaborateurs qui enseignent dans des universités en parallèle de leurs activités chez Siemens.

Simon MABY<sup>9</sup> mentionne les laboratoires communs comme facteur d'intégration de personnel de l'entreprise dans le monde académique en mentionnant le « rôle structurant d'un laboratoire commun pour associer les compétences techniques et fonctionnelles des entreprises aux compétences scientifiques des chercheurs ».

---

3. Doyen du département de mathématiques de l'Université de Warwick, vice-président de la *London Mathematical Society* de 2009 à 2019, membre du conseil d'administration du *Council for Mathematical Sciences*, vice-président du sous-comité des sciences mathématiques du *Research Excellence Framework 2021*.

4. Président et directeur de la recherche de *Capital Fund Management*.

5. *Siemens Technical Fellow, Siemens Digital Industries Software*.

6. Directeur général de l'Institut Roche.

7. Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre) 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.

8. *Head of Quantitative Research* chez *Amundi Asset Management* et professeur associé à l'Université d'Évry.

9. *Head of Data* de la société Califrais.

## IV.1.2. Parité et diversité dans la recherche mathématique

### Résumé

Les hommes d'une part et les personnes issues de milieux favorisés d'autre part sont sur-représentés dans les carrières de recherche et enseignement supérieur en mathématiques et ce phénomène a tendance à s'amplifier. Les arguments avancés sont liés aux pratiques de recrutement et promotion au sein de la communauté, à la faible attractivité pour les femmes des filières mathématiques lors des études secondaires qui ne sont plus compensées par des filières spécifiques dans le supérieur, telles que celles offertes par les écoles normales supérieures de jeunes filles. Les actions à mettre en œuvre pour contrer le phénomène semblent complexes et méritent d'être évaluées. Elles pourraient passer par des actions spécifiques.

### IV.1.2.1. Constat

Les mathématiques sont, en principe, ouvertes à tous et à toutes : le talent mathématique n'est pas dépendant d'un environnement social. Or l'expression de ce talent, elle, semble en dépendre puisque le profil typique d'un mathématicien en 2022 évolue peu. De fait, la composition du corps des chercheurs français en mathématiques pendant les quarante dernières années a suivi une trajectoire qui est contraire aux tendances générales en matière d'ouverture à la parité et à la diversité, malgré des efforts sincères pour diversifier la communauté.

Sur la question de la parité entre les femmes et les hommes, sujet le plus facile à quantifier<sup>10</sup>, il est noté que bien que la recherche en sciences exactes soit un domaine majoritairement masculin, la disparité est clairement plus sévère en mathématiques.

S'il existe aussi des mathématiciens au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) et à l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria), la plus grande partie des personnes occupant un poste permanent est constituée d'enseignants-chercheurs des universités (3 041 personnes relevant des sections 25 et 26 du Conseil national des universités) et de chercheurs du Centre national de la recherche scientifique (383 personnes relevant de la section 41 du comité national de la recherche scientifique). Au 31 décembre 2020, cette population n'est féminisée qu'à 22,1 %.

La disparité est très marquée en mathématiques fondamentales<sup>11</sup>, discipline qui ressort comme la moins féminisée de toutes les disciplines universitaires avec un taux de féminisation de 13,8 % (voir la figure IV.1.1 page suivante). À titre de comparaison, ce taux parmi l'ensemble enseignants-chercheurs<sup>12</sup> est de 40,1 %.

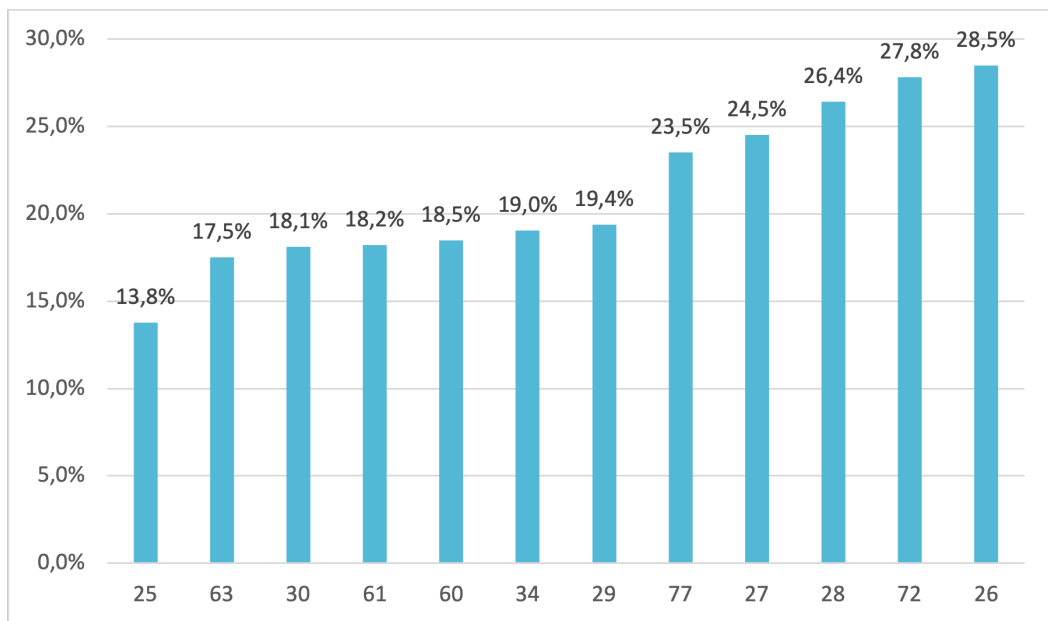
La disparité entre femmes et hommes augmente à la promotion de maître de conférences vers professeur puisqu'au 31 décembre 2021, les femmes ne représentent que 13,5 % des professeurs alors qu'elles représentent 27,5 % des maîtres de conférences. Cette situation ne se retrouve pas au Centre national de la recherche scientifique : au 31 décembre 2020, les femmes représentent 21,2 % des directeurs de recherche et 18,4 % des chargées de recherche.

10. Sauf mention contraire, les données utilisées ici sont les fiches démographiques 2020 des sections 25 et 26 du Conseil national des universités et le bilan social 2020 du Centre national de la recherche scientifique pour les données au 31 décembre 2020 et les fiches démographiques 2021 des sections 25 et 26 du Conseil national des universités pour les données au 31 décembre 2021. Ces fiches sont publiées par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche.

11. Section 25 du Conseil national des universités.

12. Toutes sections du Conseil national des universités.

**Figure IV.1.1- Les 12 sections du Conseil national des universités au plus faible taux de féminisation au 31/12/2021.**

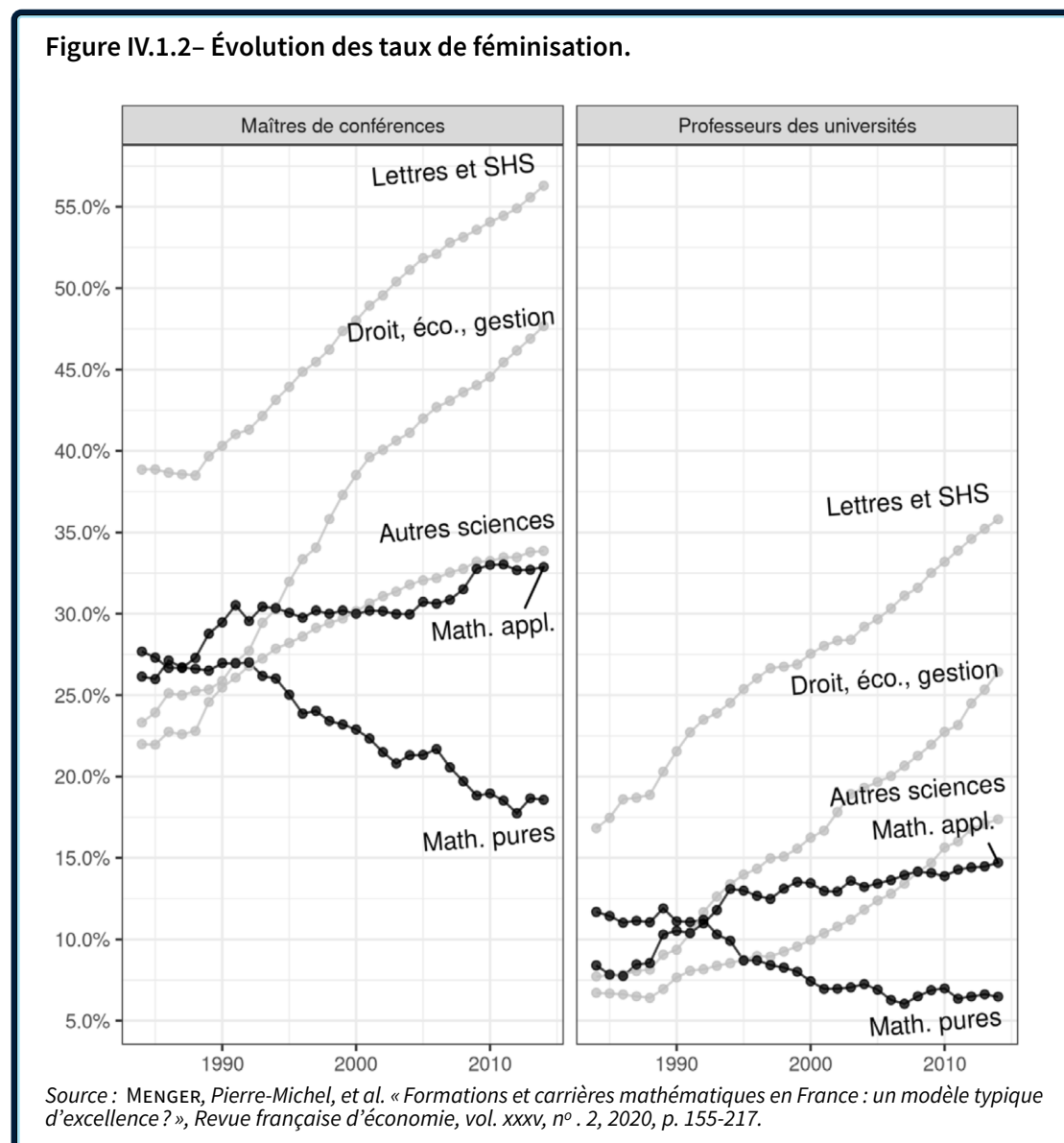


*Numéros des sections du Conseil national des universités*

- 25 Mathématiques
- 63 Génie électrique, électronique, photonique et systèmes
- 30 Milieux dilués et optique
- 61 Génie informatique, automatique et traitement du signal
- 60 Mécanique, génie mécanique, génie civil
- 34 Astronomie, astrophysique
- 29 Constituants élémentaires
- 77 Théologie protestante
- 27 Informatique
- 28 Milieux denses et matériaux
- 72 Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
- 26 Mathématiques appliquées et applications des mathématiques



Plus surprenant, contrairement aux attentes et à la situation dans les autres disciplines scientifiques (voir la figure IV.1.2), la représentation des femmes a stagné, voire légèrement décliné durant les quarante dernières années. Selon une étude de MENER et al.<sup>13</sup>, entre 1984 et 2014, le taux de féminisation en mathématiques appliquées a connu une légère augmentation tant au niveau maître de conférences que professeur alors qu'en mathématiques fondamentales, le taux de féminisation a fortement chuté au niveau maître de conférences et a pratiquement été divisé par deux au niveau professeur.



Sur la diversité plus largement, au plus haut niveau, la France jouit d'un réservoir de talents exceptionnel de jeunes formés en mathématiques, alimenté en grande partie par le système sélectif mondialement reconnu des Écoles normales supérieures<sup>14</sup> et de l'École polytechnique. Les élèves de ces écoles sont majoritairement issus d'un groupe de lycées élités : BONNEAU et

13. Pierre-Michel MENER, Colin MARCHIKA, Yann RENISIO & Pierre VERSCHUEREN. « Formations et carrières mathématiques en France : un modèle typique d'excellence ? », *Revue française d'économie*, vol. xxxv, no. 2, 2020, p. 155-217.

14. MENER et al. *Ibid.*

al.<sup>15</sup> montrent qu'en 2016-2017, seulement 8 % des lycées fournissent la moitié des effectifs des 10 % des grandes écoles les plus sélectives, qui sont à leur tour peuplées majoritairement par des jeunes provenant des milieux sociaux les plus favorisés. Comme pour la parité, des efforts sincères ont été faits de la part des écoles pour diversifier leur recrutement, mais les statistiques n'évoluent guère (voir la figure IV.1.3 page suivante).

#### IV.1.2.2. Arguments avancés pour expliquer le constat

On peut s'interroger sur les raisons de ces disparités. En ce qui concerne la représentation exceptionnellement faible des femmes, on ne peut rien dire de définitif, mais on peut présenter les arguments communément avancés.

Dans l'étude de MENER et al.<sup>16</sup>, plusieurs particularités des sciences mathématiques en France sont discutées. Parmi elles, la promotion spécifiquement jeune de maître de conférences à professeurs<sup>17</sup> et la politique de mobilité pratiquée et encouragée entre la thèse et le premier poste permanent (maître de conférences ou chargé de recherches) et au changement de corps (du corps des maîtres de conférences et chargé de recherches au corps des professeurs et directeurs de recherches) désavantagent les femmes, qui sont globalement plus touchées par les contraintes familiales. Néanmoins ces pratiques propres aux mathématiques contribuent à la fois à l'unité de la communauté et à l'excellence de la recherche mathématique en France.

La réduction graduelle de la place des femmes en mathématiques fondamentales en France est parfois attribuée, parmi d'autres facteurs, à la mise en place de la mixité dans les Écoles normales supérieures en 1986, qui a conduit à la fermeture des Écoles normales supérieures de jeunes filles (Sèvres et Fontenay). Ces écoles ont joué un rôle très important dans la promotion des mathématiciennes. Michèle FERRAND<sup>18</sup> écrit par exemple : « On peut considérer que l'existence de l'école de Sèvres fonctionnait de fait comme un système de quotas. » Ce fonctionnement peut expliquer en partie le nombre non négligeable de femmes scientifiques françaises de haut niveau. On arrive actuellement à la fin des carrières de ces anciennes élèves des Écoles normales supérieures de jeunes filles, cette disparition des cohortes posant fortement la question du renouvellement de génération dans la discipline.

La question de la féminisation du vivier de recrutement se pose aussi puisqu'en 2021, toujours selon les fiches démographiques des sections du Conseil national des universités, seules 19,4 % des candidats aux concours maître de conférences en mathématiques<sup>19</sup> étaient des femmes. La tendance bien documentée à l'heure actuelle de la dé-féminisation des filières mathématiques dans l'enseignement secondaire scolaire complique la situation<sup>20</sup>, tendance encore mise en lumière récemment lors de la disparition des mathématiques du tronc commun au lycée. L'étude du Centre Hubertine Auclert rappelle par exemple : « L'analyse des abandons

15. Cécile BONNEAU, Pauline CHAROUSSET, Julien GRENET & Georgia THEBAULT. « Quelle démocratisation des grandes écoles depuis le milieu des années 2000 ? ». Rapport IPP, no. 30, 2021.

16. *Ibid.*

17. MENER et al. indiquent un âge moyen de promotion à 38 ans contre 43 ans pour les universitaires des autres disciplines. Des données transmises à l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche en préparation des Assises indiquent que, sur la période 2009-2021, l'âge moyen de recrutement professeur toutes disciplines confondues est de 44,4 ans pour les hommes et 46,6 ans pour les femmes, ces mêmes âges étant respectivement 38,6 ans et 42,3 ans en section 25 du Conseil national des universités et 39,5 ans et 40,8 ans en section 26 du Conseil national des universités.

18. Michèle FERRAND. « La mixité à dominance masculine : l'exemple des filières scientifiques de l'école normale supérieure d'Ulm-Sèvres » in Rebecca ROGERS. « La mixité dans l'éducation : Enjeux passés et présents ». Lyon : ENS éditions, 2004. (p. 181-193).

19. Section 25 du CNU.

20. Centre Hubertine Auclert. « Les freins à l'accès des filles aux filières informatiques et numériques », 2022.

Figure IV.1.3 – Évolution de l’origine sociale des étudiants par type de formation, 2006-2016 (en %).



Source : Cécile BONNEAU, Pauline CHAROUSSET, Julien GRENET & Georgia THEBAULT. « Grandes écoles : des politiques “d’ouverture sociale” en échec », *éducation et Formations*, n° 103, 2022, p. 156-174.

d'enseignements de spécialité entre la première et la terminale est révélatrice d'un effet du genre particulièrement marqué dans le choix des mathématiques (...). En effet, entre la première et la terminale, les filles abandonnent nettement plus fréquemment que les garçons les mathématiques (taux d'abandon de 50 % chez les filles contre 30 % chez les garçons). »

Quelles sont les pronostics pour l'avenir? Avec moins de femmes présentes en mathématiques, en particulier au niveau senior, l'incarnation par des figures féminines ayant réussi se réduit pour les jeunes femmes qui entrent aujourd'hui dans la carrière. Pour tenter d'expliquer l'absence d'amélioration, Guillaume HOLLARD<sup>21</sup> insiste sur la nécessité d'évaluer les actions mises en œuvre pour augmenter à la fois la mixité sociale et de genre : « Au niveau mixité, les études montrent que la plupart des interventions n'ont aucun impact significatif, et même celles qui fonctionnent bien dans un pays ne mettent pas en exergue d'impact dans un autre lieu ou à plus grande échelle. » Les disparités sont persistantes et il y a un réel risque que la représentation des femmes et des milieux sociaux défavorisés dans la recherche mathématique continue à s'atrophier.

#### IV.1.2.3. Un regard sur ce qui se fait à l'étranger

Plusieurs universités à l'étranger (Australie, Canada, Irlande, Pays-Bas,...) font des expériences avec des postes réservés pour les femmes scientifiques. Il est observé que ceci est certainement une solution efficace pour rééquilibrer la parité entre hommes et femmes. Toutefois, il reste à valider le fait que cela soit soutenable et juridiquement valide, et acceptable dans les conditions particulières des différents postes nationaux (Centre national de la recherche scientifiques) et locaux (universitaires).

Dans beaucoup de pays de même niveau économique que la France, il y a une évolution rapide dans la mise en place des supports familiaux pour les chercheurs, comme les crèches universitaires, l'aide à la recherche d'emploi pour les conjoints, etc. Si la France veut maintenir son attractivité pour la recherche, sans être à même d'utiliser le levier des rémunérations, il est primordial qu'une attention toute particulière soit portée sur l'environnement de travail et les conditions de vie, qui sont souvent cités comme des points forts en France.

#### IV.1.2.4. Sondage accès à la carrière

En appui aux travaux portés par le groupe de travail, un sondage a été réalisé à destination des recrutés sur des postes de chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques pendant la période 2017-2021, auquel ont répondu 253 personnes.

Sur les nouveaux chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques recrutés durant la période 2017-2021 ayant répondu au sondage, 73,52 % sont des hommes et 26,48 % sont des femmes.

La proportion de réponses « oui » à la question « êtes-vous diplômé d'une École normale supérieure ? » est de 43,08 %.

Les sources de financement de thèses sont assez peu diversifiées puisque 38,6 % des répondants avaient une bourse « allocataire normalien » et 37,7 % une bourse « allocataire universitaire ». Les « allocations polytechnicien », contrats industriels, bourses Cifre et contrats de l'Agence nationale de la recherche, du Conseil européen de la recherche représentent 7,2 % alors que 16,6 % des financements relèvent d'une autre source.

Enfin, le sondage montre une faible reproduction sociale puisque que 89,3 % des répondants disent n'avoir aucun de leur parent chercheur quelque soit la discipline.

21. Professeur d'économie à l'École polytechnique.

#### IV.1.2.5. Sondage parité : une analyse de Laurence BROZE

Laurence BROZE est professeure à l'Université de Lille. Elle a été présidente de l'association Femmes & mathématiques de 2012 à 2018. Elle analyse ci-dessous brièvement les résultats, une analyse plus complète étant disponible sur le site de l'association Femmes & mathématiques<sup>22</sup>.

L'enquête par questionnaire a été diffusée au sein de la communauté mathématique académique par les sociétés savantes. Elle a permis de recueillir les réponses d'environ 800 mathématiciennes et mathématiciens travaillant ou ayant travaillé en France à l'université.

Une partie de l'enquête concerne l'absence de mixité en mathématiques dans les universités :

- l'absence de mixité dérange : 75 % des personnes interrogées affirment que l'absence de mixité les dérange et qu'elles aimeraient que cela change. Ce sentiment est également partagé par les femmes et les hommes mais concerne davantage les plus jeunes et augmente avec le nombre d'enfants ;
- mise en place d'actions spécifiques : 69 % des répondantes et répondants se disent favorables à des actions favorisant le recrutement des femmes. Les femmes sont significativement plus nombreuses (71 %) que les hommes (63 %) à penser cela, surtout si elles ont des enfants.
- postes réservés : 56 % des femmes et 41 % des hommes des répondants sont favorables à l'existence de postes, supplémentaires ou pas, réservés aux femmes ;
- sentiment de moindre écoute : 37 % des femmes et 2 % des hommes ont le sentiment d'avoir été moins écoutés par leurs collègues, leur hiérarchie, par rapport à leurs collègues de l'autre sexe ;
- carrières plus lentes : 38 % des femmes et 7 % des hommes estiment que leur carrière est plus lente que celle de la plupart de leurs collègues de l'autre sexe ;
- charges collectives : 44 % des femmes et 3 % des hommes estiment assumer trop de charges collectives en raison de leur sexe, au détriment de leur carrière.

Concernant la mobilité imposée pour le recrutement au niveau maître ou maîtresse de conférences et au niveau professeur ou professeure, les réponses les plus nombreuses (41 %) sont en faveur de la mobilité imposée uniquement pour le niveau maître ou maîtresse de conférences, voire défavorables à toute forme de mobilité imposée (16 %). Les réponses données par les femmes et les hommes sont significativement différentes, en ce qui concerne la règle de mobilité actuellement pratiquée au niveau professeur ou professeure :

- mobilité au recrutement professeur ou professeure : 39 % des hommes sont favorables à la mobilité imposée pour tous les recrutements (professeur ou professeure, maître ou maîtresse de conférences) alors que cette opinion n'est partagée que par 25 % des femmes ;
- mesures palliant les effets négatifs : 30 % des hommes et 56 % des femmes sont favorables à la mise en place de mesures permettant de pallier les effets négatifs de la mobilité imposée, comme des repyramidages réservés prioritairement aux femmes.

Parmi les maîtres et maîtresses de conférences et les chargées et chargés de recherche, on observe également certains écarts importants concernant la préparation de l'habilitation à diriger des recherches : 70 % des maîtres ou maîtresses de conférences et chargées et chargés de recherche ayant renoncé à préparer une habilitation à diriger des recherches sont des femmes.

22. Laurence BROZE. « Mixité, mobilité, parité à l'université : qu'en disent les mathématiciennes et mathématiciens? », novembre 2022. <https://femmes-et-maths.fr/wp-content/uploads/2022/11/ContributionAssisesParite.pdf>.

Concernant la participation à des comités de sélection, 42 % des chargées et chargés de recherche, directeurs et directrices de recherche, maîtres et maîtresses de conférences, professeurs ou professeurs interrogés ont participé à au moins un comité de sélection en 2021-2022 (cela représente 56 % des femmes ayant répondu et 33 % des hommes). L'origine de la désignation dans un comité n'est perçue comme justifiée par la seule compétence que par 5 % des femmes, mais par 90 % des hommes.

### IV.1.3. Attractivité et excellence de la recherche mathématique en France

#### Résumé

La France peine à garder ses talents. Des raisons salariales, mais aussi les conditions de travail (administration, enseignement, manque de temps pour développer une activité de rayonnement) sont avancées.

Les conditions de rémunération sont considérées comme insuffisante en comparaison des standards internationaux mis en place par nos principaux concurrents : Allemagne<sup>23</sup>, Royaume-Uni, États-Unis<sup>24</sup> ou encore Suisse<sup>25</sup> et présentent un risque de « débauchage » des chercheurs français. Un rapide tour d'horizon des dernières médailles Fields (voir le tableau IV.1.1 page ci-contre) permet de mettre en exergue l'internationalisation des carrières en mathématiques<sup>26</sup>. Par exemple, lorsque six sur vingt des médailles de Fields depuis 2000 ont été attribuées à des chercheurs français, seulement trois de ces chercheurs continuent à occuper un poste au moins partiel en France. On peut comparer cette situation avec les États-Unis, où quatre États-Uniens ont reçu la médaille lorsque huit des lauréats se sont installés dans ce pays. Ou pour rester dans les pays francophones, aucun national Suisse n'a reçu la médaille de Fields depuis 2000, lorsque quatre lauréats travaillent dans le pays, dont trois sur six des lauréats français.

Ces « débauchages » de talents étrangers pourraient suggérer qu'il y a bien un *package* qui permet d'attirer les talents, mêlant tout à la fois (i) rémunération, (ii) conditions de travail, (iii) liberté d'action dans la recherche et (iv) temps disponible accru pour développement d'une activité de rayonnement. Ces exemples, outre l'attractivité de la Suisse, montrent également la circulation des talents. Le cas d'Hugo DUMINIL-COPIN est emblématique d'une nouvelle tendance qui voit certains des meilleurs jeunes mathématiciens français se former à la recherche directement à l'étranger. Ceci est à mettre en regard avec la situation précédente dont il est donné quelques exemples : Jacques TITS (1930-2021, belge puis français, Prix Abel 2008, Collège de France), Pierre DELIGNE (belge, Fields 1978, Institut des hautes études scientifiques puis *Institute for Advanced Study* Princeton, États-Unis), Jean BOURGAIN (1954-2018, belge, Institut des hautes études scientifiques puis *Institute for Advanced Study* Princeton, États-Unis), Maxime KONTSEVICH (russe puis français, Fields 1998, Institut des hautes études scientifiques). L'attractivité de certaines institutions françaises est supplantée par l'attractivité d'institutions suisses.

Au-delà des récipiendaires de grand prix (Abel, Fields) on constate que de plus en plus de talents partent à l'étranger, en Suisse, en Allemagne, en Grande-Bretagne, aux États-Unis par exemple. Les raisons sont liées aux salaires plus attractifs mais aussi aux conditions de travail.

23. <https://www.academics.com/guide/professor-salary-germany>.

24. <https://www.ams.org/profession/data/annual-survey/2019Survey-FacultySalaries-Report-Prelim.pdf>.

25. [https://www.myscience.ch/fr/working/salary/salary\\_professor](https://www.myscience.ch/fr/working/salary/salary_professor).

26. En cas de décès (Voevodsky, Mirzakhani), le lieu d'exercice est le dernier lieu d'exercice.

Tableau IV.1.1- Médailles Fields depuis 2002.

Nom	Fields	Nationalité	Doctorat	Lieu d'exercice
LAFFORGUE	2002	Français	France	Huawei France
VOEVODSKY	2002	Russe & États-Unien	États-Unis	États-Unis
OKOUNKOV	2006	Russe	Russie	États-Unis
TAO	2006	Australien & États-Unien	États-Unis	États-Unis
WERNER	2006	Français	France	Suisse
LINDENSTRAUSS	2010	Israélien	Israël	Israël
CHÂU	2010	Vietnamien & Français	France	États-Unis & Vietnam
SMIRNOV	2010	Russe	États-Unis	Suisse & Russie
VILLANI	2010	Français	France	France
AVILA	2014	Brésilien & Français	Brésil	Suisse
BHARGAVA	2014	Canadien & États-Unien	États-Unis	États-Unis
HAIRER	2014	Autrichien & Britannique	Suisse	Royaume-Uni
MIRZAKHANI	2014	Iranienne	États-Unis	États-Unis
BIRKAR	2018	Iranien & Britannique	Royaume-Uni	Chine
FIGALLI	2018	Italien	France & Italie	Suisse
SCHOLZE	2018	Allemand	Allemagne	Allemagne
V ENKATESH	2018	Australien & Indien	États-Unis	États-Unis
DUMINIL-COPIN	2022	Français	Suisse	France & Suisse
HUH	2022	Coréen & États-Unien	États-Unis	États-Unis
MAYNARD	2022	Britannique	Royaume-Uni	Royaume-Uni

En particulier, la mobilité du Centre national de la recherche scientifique vers une université a fortement diminué après 2005, les chargés de recherches ne postulent que peu sur les postes de professeurs des universités en France, mais se dirigent vers l'étranger, soit directement sur des postes de professeur, soit en se faisant détacher du Centre national de la recherche scientifique vers l'étranger avant de s'y fixer selon les enquêtes de Pierre-Michel MENGER.

Dans une université française de taille moyenne, il a été constaté que le service d'enseignement des mathématiciens a subi une hausse croissante, passant de 210 heures équivalent travaux dirigés pendant l'année universitaire 2010-2011 à 239 heures équivalent travaux dirigés<sup>27</sup> pendant l'année 2020-2021. Le service statutaire d'un enseignant-chercheur étant en France de 192 heures équivalent travaux dirigés, d'autres départements de mathématiques ont fait le choix de diminuer l'offre de formation ou d'avoir recours à des vacataires dont le recrutement peut être compliqué. Par comparaison, un collègue français en Suisse signale que sa charge de travail est de 156 heures équivalent travaux dirigés. Les heures de séminaire sont également comptées dans la charge des professeurs qui délèguent souvent leurs travaux dirigés aux doctorants (dont c'est la charge). Une collègue aux États-Unis mentionne 84 heures d'enseignement par an plus deux heures d'*open office*<sup>28</sup> par semaine (aucune préparation requise). Il est à noter qu'à l'étranger (observé aux États-Unis), les décharges d'enseignement font l'objet de modulations, élevant ce levier au rang d'outil tant d'attractivité des talents que de fidélisation.

Aux charges d'enseignement, il faut rajouter la mention par plusieurs interlocuteurs de la profusion de tâches administratives qui « étouffent » les enseignants-chercheurs français. Le développement de nouvelles responsabilités pour les enseignants-chercheurs (dont les activités de développement durable, le suivi personnalisé des étudiants, les activités de médiation, l'insertion dans les collèges et lycées) souvent à des fins très souhaitables mais sans décharge compensatoire, continue à diminuer le temps de recherche pour les chercheurs français. Enfin, il y a les problèmes de soutien administratif. Un collègue français en Suisse remarque que chaque professeur bénéficie d'au moins une journée de secrétariat par semaine, un poste de secrétariat étant accordé, en général, à un groupe d'au maximum 5 professeurs.

---

27. L'heure équivalent travaux dirigés est une unité de mesure du temps devant les étudiants. Selon l'article L952-3 du Code de l'éducation : « Les fonctions des enseignants-chercheurs s'exercent dans les domaines suivants : 1° L'enseignement incluant formation initiale et continue, tutorat, orientation, conseil et contrôle des connaissances ; 2° La recherche ; 3° La diffusion des connaissances et la liaison avec l'environnement économique, social et culturel ; 4° La coopération internationale ; 5° L'administration et la gestion de l'établissement. » Le temps de travail est défini par l'article 7 du décret n° 84-431 du 6 juin 1984 fixant les dispositions statutaires communes applicables aux enseignants-chercheurs et portant statut particulier du corps des professeurs des universités et du corps des maîtres de conférences modifié par l'article 2 du décret n° 2019-1108 du 30 octobre 2019 : « Le temps de travail de référence, correspondant au temps de travail arrêté dans la fonction publique, est constitué pour les enseignants-chercheurs : 1° Pour moitié, par les services d'enseignement déterminés par rapport à une durée annuelle de référence égale à 128 heures de cours ou 192 heures de travaux dirigés ou pratiques ou toute combinaison équivalente en formation initiale, continue ou à distance. Ces services d'enseignement s'accompagnent de la préparation et du contrôle des connaissances y afférents. (...) ; 2° Pour moitié, par une activité de recherche (...) ».

28. Les heures d'*open office* de bureau sont des heures pendant lesquelles les étudiants peuvent rencontrer leurs enseignants pour discuter, en dehors des heures de cours, de la matière présentée en classe ou d'autres intérêts connexes liés à la matière. Les discussions liées au cours peuvent comprendre par exemple des demandes d'aide supplémentaire ou de clarification de la matière présentée en classe.



## IV.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### IV.2.1. Embauche en entreprise des étudiants en mathématiques

#### Proposition IV.1

Former tous les étudiants en mathématiques au traitement de données et/ou au codage.

Le groupe de travail préconise que tous les étudiants en mathématiques puissent avoir suivi, au niveau licence au moins, à un cours de programmation (algorithmique, programmation orientée objet).

Parallèlement le groupe de travail suggère d'étendre, voire de généraliser, les projets de « mathématiques expérimentales », où les étudiants peuvent, par petits groupes, travailler de manière informatique sur un vrai problème de maths : trouver un exemple ou un contre-exemple, visualisation d'un phénomène intéressant<sup>29</sup>.

Le groupe de travail propose enfin que tous les étudiants de master aient la possibilité de suivre un cours, éventuellement élémentaire et pratique, de traitement de données. Dans ce cours, les aspects mathématiques, de plus en plus nombreux, devraient être abordés en relation avec l'étude des données massives : concentration de la mesure, transport de mesure appliqué, méthode des noyaux et théorie spectrale, probabilités et statistiques. De tels cours devraient également être proposés au niveau du doctorat.

#### Proposition IV.2

Augmenter la sensibilisation au travail en entreprise par des formations spécifiques.

Avec l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société<sup>30</sup>, il conviendrait de développer les Semaines d'étude mathématiques - entreprises<sup>31</sup> et envisager d'en augmenter la fréquence. Le groupe de travail propose aussi d'étendre les projets au-delà d'une semaine.

Le groupe de travail propose le développement, à titre d'expérience dans une ou deux universités, de formations conduites par, ou au moins impliquant, des mathématiciens travaillant dans des entreprises. Une généralisation peut être envisagée après évaluation des effets de l'expérience.

### IV.2.2. Accroissement de l'attractivité des mathématiques

#### Proposition IV.3

Développer dans chaque région une équipe spécialisée pour la médiation mathématique (rayonnement, communication, sensibilisation).

29. On peut trouver des exemples sur le site de *Geometry Labs United* <https://geometrylabs.net/labs/>.

30. Unité d'appui et de recherche du Centre national de la recherche scientifique et de l'Université Grenoble Alpes.

31. Les Semaines d'étude mathématiques - entreprises réunissent, autour de sujets exploratoires, des entreprises et des jeunes chercheurs et chercheuses (doctorat en cours ou récent). Des industriels viennent présenter des problèmes ouverts, dont la formulation même n'est pas toujours aboutie, sur lesquels travaillent de petits groupes de jeunes chercheurs et chercheuses pendant une semaine. L'objectif est de proposer des embryons de solutions ou des pistes possibles.

Cette équipe pourrait programmer aussi des actions des médiations dans l'enseignement secondaire que dans l'enseignement supérieur. En particulier, Il y a actuellement peu d'interventions dans les licences et masters par des mathématiciens exerçant dans la sphère économique. Cela participe du manque de visibilité des carrières mathématiques en dehors des débouchés traditionnels de la recherche et l'enseignement. Cela contribue également au manque de valorisation de nos étudiants diplômés de master ou doctorat dans le système économique français.

Une telle équipe aurait pour rôle :

- de coordonner les différents acteurs (Agence pour les mathématiques en interactions avec l'entreprise et la société, sociétés savantes, associations, Instituts de recherche en enseignement des mathématiques...);
- de soutenir le montage de programmes innovants dans les universités, notamment avec participation de mathématiciens exerçant dans le monde de l'entreprise;
- d'organiser et suivre les interventions dans les collèges et lycées, y compris les activités visant la diversité en mathématiques.

Le groupe de travail propose que l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions<sup>32</sup> mette en place ces équipes avec une mise à disposition de moyens par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et que les universités participantes hébergent les équipes et assurent la communication entre celles-ci et les chercheurs.

#### Proposition IV.4

Développer un registre national des actions de visibilité des mathématiques.

Un tel registre pourrait contenir :

- un recensement des différentes actions de médiation dans les établissements scolaires;
- un recensement des formations de licence visant les carrières en mathématiques, académiques ou bien dans l'industrie;
- un recensement des actions en lien avec l'entreprise au niveau master ou thèse (bourses Cifre, Semaines d'études maths-entreprise, stage en entreprise...).

### IV.2.3. Parité et égalité dans les carrières académiques

#### Proposition IV.5

Réserver aux femmes les postes de repyramidage des sections « mathématiques » et « mathématiques appliquées et applications des mathématiques » du Conseil national des universités.

Le protocole d'accord relatif à l'amélioration des rémunérations et des carrières<sup>33</sup> signé dans le cadre de la loi de programmation pour la recherche indique que les actions développées par la loi, et notamment le repyramidage doivent « rendre effective l'égalité entre les femmes et les hommes de rémunération et de déroulement de carrière ».

Les mathématiques se trouvent dans la cible de projet. Au 31 décembre 2021 :

32. La direction scientifique du Centre national de la recherche scientifique comprend dix instituts qui pilotent la stratégie de recherche de l'établissement et coordonnent les activités et les projets des laboratoires qui leurs sont rattachés. L'institut qui couvre le champ disciplinaire des mathématiques est l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions. Il a été investi, par un arrêté du 28 juin 2010, des missions nationales d'animation et de coordination dans le domaine des mathématiques.

33. [https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/content\\_migration/document/LPPR\\_2020\\_protocole\\_A4\\_02\\_sign\\_1341116.pdf](https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/content_migration/document/LPPR_2020_protocole_A4_02_sign_1341116.pdf).

- en mathématiques (section 25 du Conseil national des universités), la proportion de femmes professeures est 19,7 % de l'ensemble des femmes de la section<sup>34</sup>;
- en mathématiques appliquées et applications des mathématiques (section 26 du Conseil national des universités), la proportion de femmes professeures est 22,5 % de l'ensemble des femmes de la section<sup>35</sup>.

Le déficit<sup>36</sup> du nombre de femmes professeures pour obtenir un taux de professeures de 40 % s'élève à :

- 36 femmes en mathématiques;
- 89 femmes mathématiques appliquées et applications des mathématiques.

Dans un environnement où la mise au concours de postes de professeur est rare, l'exigence de retenir une candidature féminine sur un échantillon de candidats parfois très restreint, pourrait conduire à des difficultés de dynamique fonctionnelle pour une structure locale.

Les postes de repyramidage, en revanche, sont gérés au niveau national. Mettre les postes de repyramidage en concours pour les femmes permettra d'étaler l'essentiel du travail de promotion des meilleures mathématiciennes en France. Ainsi, il sera assuré que les meilleures candidates peuvent être promues indépendamment des questions de chance qui accompagnent nécessairement la promotion d'une population très minoritaire.

Le groupe de travail recommande que la politique de repyramidage soit discutée au sein de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions et qu'un plan mathématiques à l'horizon 2030 définisse le financement de ce repyramidage.

#### Proposition IV.6

Mettre en place une charte de parité pour les commissions de recrutement dans l'enseignement supérieur et la recherche.

Le groupe de travail propose que soit généralisée la charte parité de l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria)<sup>37</sup> en proposant un modèle de telle charte pour toute commission de recrutement pour un poste universitaire en mathématiques. Cette charte s'appuiera sur la circulaire<sup>38</sup> « Assurer l'égalité de traitement dans les procédures de recrutement, garantir l'égalité professionnelle et limiter les biais de sélection » émise le 18 juin 2020 par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et de l'innovation pour le volet formation à la lutte contre les stéréotypes et suivi des données tout au long du concours pour lutter contre les discriminations non intentionnelles. Elle définira un certain nombre de règles communes telles que la prise en compte d'une réduction de 18 mois par enfant dans l'étude des candidatures de femmes dès lors que le temps de mise en œuvre d'un programme de recherche est un élément de comparaison des candidatures.

En particulier, la charte devra :

- rappeler aux jurys l'interdiction de prendre en considération le critère d'âge d'un candidat comme critère pour l'évaluation des dossiers, la seule mention pouvant être opposée étant la question du potentiel de déroulé de carrière qui suit une éventuelle sélection, comme le rappelle la jurisprudence constante sur ce point à présent;

34. Cette proportion est de 40,5 % pour les hommes.

35. Cette proportion est de 40,1 % pour les hommes.

36. Ces déficits représentent le nombre de femmes qui devraient passer professeure à effectif de femmes constant pour avoir un taux de professeures égal à 40 %.

37. <https://parite.inria.fr/fr/charte-parite-et-egalite-des-chances/>.

38. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/bo/20/Hebdo27/ESRS2014504C.htm>.

- inciter les jury à minimiser l'utilisation des « métriques » lors de l'évaluation des candidats et candidates et favoriser une évaluation sur l'intégralité des contributions scientifiques et professionnelles y compris les responsabilités collectives.

Plus généralement, le groupe de travail demande que les formations de sensibilisation aux questions de genre et de diversité soient ouvertes plus systématiquement aux enseignants-chercheurs. Il constate que dans plusieurs établissements, de telles formations sont difficilement accessibles, voire inexistantes. Ces formations permettent d'éviter certaines pratiques contre-productives non intentionnelles, même parmi les personnes bien intentionnées. Auditionnée par le groupe de travail, Olga ROMASKEVICH<sup>39</sup> rappelle : « S'il y a une chose à faire, c'est de former aux inégalités de genre. Il est en effet très difficile de savoir quelle est la bonne réaction à tenir face aux inégalités de genre. »

Le comité propose que cette charte soit préparée par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions pour être ensuite amendée en fonction des contextes locaux. L'Institut aura la responsabilité d'encourager fortement la mise en place de la charte dans chacune des unités de mathématiques dont le Centre national de la recherche scientifique est tutelle. Le comité propose aussi que l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions mette en place une formation aux biais et stéréotypes de genre spécifique aux mathématiques pour les référents parité de ses unités et comités de recrutements. Les universités qui accepteront de participer à l'action valideront et adapteront la charte et offriront des formations à l'ensemble des enseignants-chercheurs.

#### Proposition IV.7

Mieux soutenir les femmes en retour de congé de maternité dans l'enseignement supérieur et la recherche.

Le projet *Gender Gap in Science*<sup>40</sup>, principalement financé par le Conseil international pour la science a publié en 2020 l'ouvrage *A Global Approach to the Gender Gap in Mathematical, Computing, and Natural Sciences : How to Measure It, How to Reduce It?*<sup>41</sup> qui recommande : « Prendre en compte l'impact de la parentalité sur les carrières des femmes. Introduire un critère adapté pour les responsabilités de soin à des enfants (18 mois par enfant recommandé) lors de l'examen des candidatures pour les recrutements et promotions. En pratique, ceci concerne surtout les femmes. Encourager l'octroi d'une année consacrée entièrement à la recherche après un congé de maternité ou parental. Reconnaître l'existence de carrières discontinues et de responsabilités familiales et les prendre en compte pour les politiques de recrutement et de financement. »

Bien que le cas ne soit pas universel, la reprise d'un projet de recherche faisant suite à un congé de maternité ou parental peut nécessiter un travail de remise à niveau important. De manière purement économique, un manque de soutien pour une chercheuse pendant cette période peut représenter une perte à long terme. Sur le plan humain, un accompagnement par un collaborateur ou une collaboratrice est une manière efficace de permettre à une chercheuse de réengager les travaux.

Le groupe de travail recommande un soutien explicite et financé pour les femmes reprenant le travail après un congé maternité ou parental :

39. Chargée de recherche au Centre national de la recherche scientifique et organisatrice d'une école mathématique non-mixte « Les Cigales » à Marseille.

40. <https://gender-gap-in-science.org>.

41. Colette GUILLOPÉ & Marie-Françoise ROY (ed). « *A Global Approach to the Gender Gap in Mathematical, Computing, and Natural Sciences : How to Measure It, How to Reduce It?* ». Juin 2020. International Mathematical Union. <https://gender-gap-in-science.org/2020/06/25/gender-gap-in-science-book/>.

- poursuivre la politique engagée de priorisation des demandes de délégation ou congés pour recherche et reconversion thématique pour les femmes dans les 2 ans suivant un retour après congé de maternité ou parental ;
- accompagnement de cette décharge d'enseignement par un financement systématique (et donc non sélectif) pour une visite de recherche d'un collaborateur ou d'une collaboratrice sur la base d'une demande explicite motivée.

#### Proposition IV.8

Créer des bourses doctorales réservées aux femmes.

Comme pour le recrutement des professeurs des universités, l'attribution des bourses de thèse par un laboratoire est souvent décidée sur plusieurs dimensions : compétence évidemment, mais aussi équilibre entre équipes thématiques, entre directeurs et directrices de thèse, localisation des études précédentes, etc.

Pour permettre aux laboratoires de retenir les meilleures candidates, il est proposé un système de bourses, financées par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions, qui seraient attribuées aux universités ou instituts de recherche, après un concours exigeant.

Le groupe de travail propose les modalités du concours suivantes :

- la candidature se fait en collaboration avec le laboratoire d'accueil qui rédige un dossier de soutien à la candidature ;
- dans le cas où d'autres tutelles du laboratoire d'accueil envisagé proposent des bourses de thèse, la candidate postule sur l'ensemble des bourses avec un dossier identique, (ceci pour éviter une surcharge liée à la rédaction de multiples dossiers de candidature), accompagné par un dossier de soutien de la part du futur directeur ou de la future directrice de thèse ;
- une vigilance particulière sera portée sur le schéma d'allocation des bourses (national ou local) afin de ne pas alimenter des stratégies locales indésirables ;
- une campagne de publicité précèdera l'ouverture du concours, ce qui permettrait d'en renforcer le rayonnement et subséquemment l'attrait.

Le comité propose que l'action soit financée par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et gérée nationalement par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions.





# Partie V

Mathématiques et ensei-  
nement





Le groupe de travail a été dirigé par :

- Xavier BUFF, professeur à l'Université Toulouse - Paul Sabatier;
- Louise NYSSSEN, maître de conférence à l'Université de Montpellier, directrice adjointe de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation de l'académie de Montpellier et directrice adjointe de l'Institut de recherche pour l'enseignement des sciences de Montpellier.

Ils étaient accompagnés par :

- Pierre ARNOUX, professeur à Aix-Marseille Université;
- Michèle ARTIGUE, professeure émérite à l'Université Paris-Cité;
- Myriam MAUMY, maître de conférence à l'Université technologique de Troyes;
- André TRICOT, professeur à l'Université Paul Valéry, Montpellier III.

## V.1. Diagnostic

### V.1.1. Introduction

#### Résumé

En France, jusqu'au collège, les mathématiques restent l'une des disciplines préférées des élèves. Pourtant, les enquêtes internationales mesurent une réelle anxiété de ces mêmes élèves et de leurs enseignants, confrontés à un système d'évaluation à revoir, à une discipline perçue comme prépondérante dans les choix d'orientation, à des réformes incessantes... Le groupe de travail identifie trois problématiques : 1° écart entre l'intention de l'institution à la conception des réformes et réalité de la mise en œuvre sur le terrain; 2° relation entre les mathématiques, les autres disciplines et la société, les mathématiques sont une science vivante qui peut être abordée de façon pratique et expérimentale et constituer un outil de développement professionnel tout au long d'une carrière; 3° la formation initiale et continue des enseignants.

Le périmètre de réflexion du groupe de travail concerne aussi bien l'enseignement primaire, secondaire et supérieur, que la formation continue et tout au long de la vie.

En propos liminaire, le groupe de travail souhaite tempérer l'idée reçue largement répandue d'une profonde désaffection pour les mathématiques. L'enquête<sup>1</sup> de Pierre MERLE sur le collège, la thèse<sup>2</sup> de Lili Ji sur les élèves de terminale en France et en Chine, l'évaluation dite « Cedre »<sup>3</sup> de 2014 complétée en 2020<sup>4</sup> et plus récemment, l'enquête de l'Unicef<sup>5</sup> ou enfin l'étude<sup>6</sup> coordonnée par la Direction de la programmation et du développement du Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie en 1998, montrent que les élèves, à tous les niveaux, apprécient le cours de mathématiques, et souvent plus que les autres cours

1. Pierre MERLE. « Le rapport des collégiens aux mathématiques et au français. La perception des élèves de 6<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>. Orientation scolaire et professionnelle », n° 32, 4, 641-668.

2. Lili Ji. « La poursuite des études scientifiques ou non scientifiques au lycée et à l'université en Chine et en France », thèse sous la direction d'Agnès van Zantem, 2011.

3. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance. « Cedre 2014 : mathématiques en fin d'école », Les études de la Depp. 2017. Notamment pages 71 et 72.

4. Louis-Marie NINNIN & Franck SALLES. « Cedre 2008-2014-2019 Mathématiques en fin de collège : des résultats en baisse », Depp, note d'information n° 20.34, septembre 2020.

5. Agnès FLORIN, Jean-Michel GALHARRET, Cendrine MERCIER, Emmanuelle TOUSSAINT & Omar ZANNA. « Consultation nationale UNICEF 2021 - La jeunesse à bonne école ? », Rapport de l'Unicef, septembre 2021. Notamment pages 8 à 10.

6. Jean-Pierre JEANTHEAU & Fabrice MURAT. « Perception du collège et de la vie scolaire par les élèves en fin de troisième ». Les dossiers d'éducation et formation, n° 104, décembre 1998. Notamment page 70.

(hors éducation physique et sportive). Si l'enquête de Pierre MERLE montre une baisse du goût pour les mathématiques au long du collège, il en est de même pour les autres disciplines, et la cause de cette baisse est probablement à chercher ailleurs. S'il y avait vraiment une baisse du goût pour les mathématiques qui influait sur les orientations des élèves, ce sont les élèves ayant le plus de capital scolaire, et donc le plus de possibilités de choix, qui partiraient les premiers (comme cela a pu se produire dans la filière littéraire L); les chiffres, de façon constante, montrent exactement le contraire, y compris pour la récente baisse des inscriptions en mathématiques au lycée : ce sont les élèves les moins dotés en capital symbolique qui sont partis, renforçant la sélectivité sociale de la filière. Autrement dit, les sociologues expliquent bien que les élèves ne choisissent pas ce qu'ils « aiment », mais ce qui leur est possible dans la situation où ils sont, et leurs « goûts » sont largement guidés par leur position dans la société. On ne règlera pas les questions d'orientation en rendant les mathématiques « aimables » (elles le sont déjà partiellement).

L'explication paresseuse convoquant l'amabilité permet d'évacuer les vrais problèmes : une très réelle anxiété, des élèves comme des enseignants (de primaire en particulier), qui est mesurée par toutes les enquêtes (Pisa<sup>7</sup>, Timss<sup>8</sup>) et qui a des causes précises : une formation des enseignants incomplète, un système d'évaluation à revoir, un système d'orientation qui force les élèves à des choix non désirés, une réforme qui renforce la voie dite « experte » et qui supprime les parcours plus pratiques, et moins impressionnants pour certains élèves, comme celui qui existait en filière sciences économiques et sociales ES... On observe aussi un biais social bien plus fort en France que dans les pays comparables, et dans bien des cas une utilisation des mathématiques, non pas pour leur valeur de formation, mais pour la façon dont elles peuvent permettre une sélection facile. C'est sur tous ces points qu'il faut travailler<sup>9</sup>.

Partant de ce constat, le groupe de travail a dégagé trois pistes de réflexion.

1. Conception, mise en œuvre et suivi des réformes. Les réformes semblent nécessaires et sont d'ailleurs fréquentes. Mais les entretiens que nous avons menés ont révélé un écart inquiétant entre les intentions de l'institution et la réalité de la mise en œuvre sur le terrain.
2. Relations entre mathématiques, société et autres disciplines. Pour que les mathématiques ne soient plus perçues comme un exercice purement formel ou un moyen de sélection, les contenus et modalités de formation devraient faire apparaître les mathématiques comme une science vivante, qui nécessite de l'imagination et de la réflexion, en relation avec la société et les autres disciplines. Elles doivent aussi mettre en valeur le côté pratique et expérimental des mathématiques, qui peut être au service des autres disciplines, (on pense à la modélisation ou la gestion de données) mais qui peut aussi soutenir la réflexion mathématique elle-même. Enfin, elles peuvent être un outil de développement professionnel tout au long de la carrière. La question de l'attractivité de l'enseignement supérieur en mathématiques pour les profils étudiants étrangers d'excellence se pose également ici.

---

7. Le programme international pour le suivi des acquis des élèves Pisa (*Programme for International Student Assessment*) est mené par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) avec l'objectif de mesurer les performances des systèmes éducatifs.

8. L'enquête de tendances dans l'étude des mathématiques et des sciences (*Trends in International Mathematics and Science Study*) est une enquête internationale sur les acquis scolaires, coordonnée par l'*International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA)* avec l'objectif de suivre depuis 1995 l'évolution des résultats en mathématiques et en sciences tous les quatre ans, en quatrième et en huitième année (CM1 et 4<sup>e</sup> dans le contexte français).

9. Sur les biais sociaux, voir l'ouvrage de Clémence PERRONNET : « La bosse des maths n'existe pas ». Sur le plaisir à faire des mathématiques, « *Mathématica* » de David BESSIS.

3. Formation initiale et continue des enseignants en mathématiques. Les enseignants sont les mieux placés pour transmettre aux élèves et plus tard aux étudiants, une meilleure image des mathématiques. Le groupe s'interroge sur ce qui peut être fait non seulement en formation initiale, mais aussi en formation continue et développement professionnel.

### V.1.2. Conception, mise en œuvre et suivi des réformes

#### Résumé

Le système éducatif français a été soumis depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle à une accumulation de réformes à la conception desquelles la communauté des mathématiques a été très peu associée. Alors que les mathématiques font partie de la culture générale et permettent d'appréhender le monde en évolution avec un regard participatif et citoyen, les réformes successives tendent à impacter négativement le nombre d'élèves suivant des enseignements de mathématiques. La comparaison internationale montre la nécessité de réformes de l'enseignement des mathématiques, régulières mais pas trop fréquentes (une périodicité de dix ans semble raisonnable) bien anticipées, impliquant l'ensemble des acteurs et mises en place progressivement. Ces réformes complexes échappent nécessairement en partie à leurs concepteurs et des mécanismes de suivi doivent compenser les effets de cet échappement.

En guise de préambule, mettons en exergue cette citation de François MOUSSAVOU<sup>10</sup> lors des entretiens : « Si l'institution ne fait pas confiance aux acteurs, je n'ai pas la solution. »

#### V.1.2.1. Constats et état des lieux de la situation actuelle

Le système éducatif français a été soumis, depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle, à une accumulation de réformes : réformes curriculaires, et réformes de la formation des enseignants. Le document<sup>11</sup> préparé pour la présentation nationale française au congrès ICME-14 (*International Congress of Mathematics Education*) de juillet 2021 a recensé dix réformes curriculaires qui ont eu un impact substantiel sur l'enseignement des mathématiques, pour les seuls enseignements primaire et secondaire (voir le tableau V.1.1 page suivante), auxquelles il faut ajouter les trois réformes successives de la formation des enseignants intervenues depuis 2010 discutées dans la partie V.1.4 page 86.

Le tableau V.1.1 page suivante rassemble tous les cycles. Si on se concentre sur un bloc (lycée général et technologique, lycée professionnel, collège, élémentaire, maternelle), le rythme des réformes semble moins élevé, mais il faut aussi prendre en compte les changements liés à l'introduction du socle commun et trois lois successives. Une telle accumulation de réformes est en soi préjudiciable. Elle ne permet pas de mettre en place dans la durée le nécessaire accompagnement des réformes et elle épuise les acteurs qui doivent sans cesse s'adapter à de nouvelles directives. Elle ne permet pas non plus d'évaluer sérieusement les effets possibles de ces réformes, remises en cause avant même que le système n'ait trouvé un nouvel équilibre.

10. Enseignant de mathématiques-physique-chimie en lycée professionnel, membre de la commission inter-Irem Lycée professionnel.

11. « Présentation nationale de l'enseignement des mathématiques en France au congrès ICME-14 ». Dossier réalisé par la Commission française pour l'enseignement des mathématiques. [http://www.cfem.asso.fr/icmi/icme-14/NP\\_France\\_ICME14Francais.pdf](http://www.cfem.asso.fr/icmi/icme-14/NP_France_ICME14Francais.pdf).

**Tableau V.1.1- Évolutions curriculaires en France (enseignement primaire et secondaire).**

2000	Réforme du lycée général pilotée par le Conseil national des programmes	2012	Création du Conseil supérieur des programmes
2002	Réforme de l'école élémentaire	2015	Loi Peillon - Nouveau socle commun de connaissances, compétences et de culture
2005-2006	Nouvelle loi sur l'école (loi Fillon) et dissolution du Conseil national des programmes - Socle commun des connaissances et compétences - Réforme du collège	2015	Réforme de l'école maternelle
2008	Réforme de l'école primaire	2016	Réforme de l'école élémentaire et du collège
2009-2010	Réforme du lycée professionnel (2009). Réforme des lycées généraux et technologiques (2010)	2018-2020	Loi Blanquer - Réforme des lycées et du baccalauréat - Réforme de l'accès à l'enseignement supérieur

Source : « Présentation nationale de l'enseignement des mathématiques en France au congrès ICME-14 ».

La communauté mathématique au sens large, telle que représentée au sein de la Commission française pour l'enseignement des mathématiques<sup>12</sup> (CFEM), est insuffisamment associée à la conception, la mise en place et au suivi des réformes concernant l'enseignement des mathématiques. Les effets négatifs en sont particulièrement visibles dans la dernière réforme du lycée général (voir les différentes analyses et communiqués produits par la communauté sur cette réforme).

Le pilotage du système éducatif français reste de plus très vertical, ce qui permet plus difficilement aux enseignants et formateurs de s'appropriier les réformes. Les nombreux travaux sur les réformes curriculaires menés en éducation mathématique (voir par exemple la très récente « étude 24 »<sup>13</sup> de la Commission internationale de l'enseignement mathématique montrent pourtant que c'est une condition essentielle de la réussite des réformes. Il en résulte aussi un déficit de communication entre les différents acteurs qui s'est traduit dans les entretiens menés par des décalages importants entre la vision des enseignants et des formateurs et celle de membres des corps d'inspection.

Des exemples réussis de concertation existent cependant, comme l'a montré l'entretien mené avec François MOUSSAVOU, responsable de la commission inter-Irem<sup>14</sup> Lycée professionnel. Ce dernier a en effet mentionné l'action de l'inspectrice générale Isabelle MOUTOUSSAMY qui, après la mise en place de la réforme de 2009 des lycées professionnels, a consulté l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public et les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, avant de faire des aménagements de programmes qui ont permis de rapprocher en bonne intelligence le curriculum réel du curriculum prescrit. Le rapport<sup>15</sup> VILLANI-TOROSSIAN est aussi un exemple de concertation réussie : de nombreuses auditions ont été réalisées et les mesures recommandées ont été jugées pertinentes et globalement bien accueillies.

En revanche, les récents débats autour de la place des mathématiques dans la voie générale du lycée se font par voie de presse, ce qui n'est pas le moyen d'une concertation apaisée.

### V.1.2.2. Éléments quantitatifs

Commençons par quelques rappels sur le baccalauréat :

12. Au sein de l'Union mathématique internationale (*International Mathematical Union*, Imu), la Commission internationale de l'enseignement mathématique (*International Commission on Mathematical Instruction*, Icmi) se consacre à la recherche sur l'enseignement des mathématiques et au développement de cet enseignement. Sa commission française est la Commission française pour l'enseignement des mathématiques. Celle-ci est un lieu de rencontre de douze composantes : l'Académie des sciences, l'Assemblée des directeurs d'Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, l'Association pour la recherche en didactique des mathématiques, le Comité national français de mathématiciens, l'Institut Henri Poincaré, la Société mathématique de France, la Société des mathématiques appliquées et industrielles, la Société française de Statistique et l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques, Femmes & Mathématiques et MATH.en.JEANS, cette dernière composante ayant le statut de composante associée. L'Inspection générale de l'éducation du sport et de la recherche est associée aux travaux de la commission.

13. Yoshinori SHIMIZU & Renuka VITHAL (éd.) « *School Mathematics Curriculum Reforms : Challenges, Changes and Opportunities* » ; *Proceedings of ICMI Study 24 Conference*. Tsukuba: University of Tsukuba (sous presse). <https://www.mathunion.org/fileadmin/ICMI/ICMIstudies/ICMIStudy24/ICMIStudy24Proceedings.pdf>.

14. Les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques (Irem) sont localisés dans des universités. Ils associent des enseignants du primaire, du secondaire et du supérieur, pour effectuer en commun des recherches sur l'enseignement des mathématiques et assurer ainsi des formations de professeurs s'appuyant fortement sur la recherche.

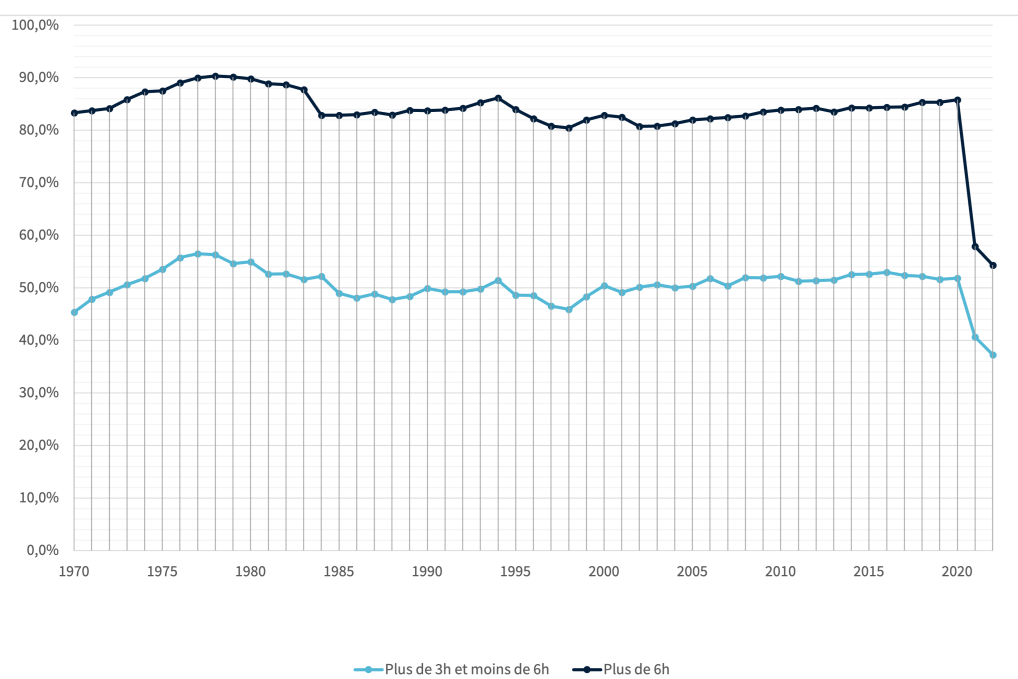
15. Cédric VILLANI & Charles TOROSSIAN. « 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques », 2018. <https://www.education.gouv.fr/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques-3242>.

- le baccalauréat général, évoqué principalement dans ces travaux, ne représente qu'un peu plus de 50 % des bacheliers. Le baccalauréat technologique représente 20 % des bacheliers aujourd'hui, et le baccalauréat professionnel a vu sa part augmenter pour approcher les 30 %;
- la progression du taux d'obtention du baccalauréat, toutes voies confondues, est un phénomène massif et de grande ampleur, sur 60 ans. Ce taux est passé de moins de 10 % à la fin des années 50 (seul le baccalauréat général existait alors) à près de 90 % aujourd'hui (toutes voies confondues). Le fameux taux de 80 % de la population au baccalauréat a été franchi en 2018. C'est par ailleurs un phénomène mondial;
- on constate que c'est lors des périodes de réforme (mathématiques modernes, vers 1970, réforme du lycée de 1992 arrivée au baccalauréat en 1995, et réforme actuelle) que le processus se suspend, avec arrêt de la progression entre 1973 et 1985, et recul après 1994 et 2020. Les progressions ont eu lieu lors de périodes de stabilité et d'adaptations progressives, en particulier lors des années 60 (avec un point exceptionnel d'une autre nature en 1968) et lors de la période de 1985 à 1992.

Regardons plus précisément la part des mathématiques et des sciences dans le baccalauréat général. La figure V.1.1 représente la part, parmi les bacheliers du baccalauréat général la part de ceux ayant eu :

- au moins 6 heures de cours mathématiques en terminale (courbe bleue clair);
- au moins 3 heures de cours mathématiques en terminale (courbe bleue foncé).

**Figure V.1.1- Part des bacheliers du baccalauréat général ayant suivi un enseignement de mathématiques en terminale.**

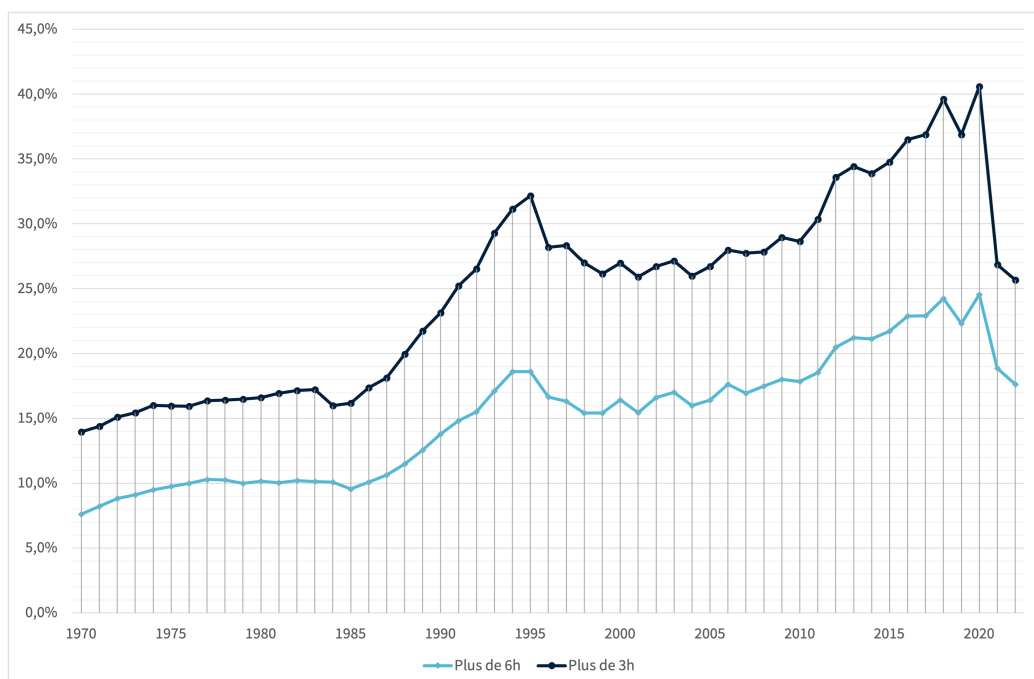


Source : Pierre ARNOUX. Communication directe.

La figure V.1.2 page suivante mesure la proportion des personnes de la classe d'âges des 18 ans ayant reçu un baccalauréat général avec enseignement de mathématiques :

- de plus de 6 heures de mathématiques en terminale (courbe bleue clair);
- de plus de 3 heures de mathématiques en terminale (courbe bleue foncé).

**Figure V.1.2– Part d'une classe d'âge ayant obtenu un baccalauréat général avec enseignement de mathématiques en terminale.**



Source : Pierre ARNOUX. Communication directe.

Si la tendance globale est l'augmentation de la part des scientifiques dans une classe d'âge, on remarquera le très fort impact de la réforme de 1992 (répercutée sur le baccalauréat de 1995) et celui encore plus brutal des réformes des deux dernières années, qui ramène au niveau de 1992, en particulier pour les études générales contenant des mathématiques.

À ce jour, le recul est insuffisant pour évaluer l'effet de cette réforme sur les poursuites d'études scientifiques. Néanmoins, pour de nombreux acteurs de l'enseignement supérieur, il est certain que la baisse de la part des bacheliers ayant suivi une formation scientifique représente un risque. Sur ce sujet, Jean-François FIORINA<sup>16</sup> indique : « Nous avons une grande inquiétude sur les classes préparatoires aux grandes écoles avec la baisse du nombre d'élèves, notamment parce que moins d'élèves suivent des enseignements en mathématiques au lycée. Il y avait une cohérence avec les filières qui débouchaient chacune sur une classe préparatoire. On constate par ailleurs une hétérogénéité des niveaux très forte en *bachelor* : ceux qui n'ont pas fait de mathématiques depuis longtemps ont besoin de revenir aux bases sur les ordres de grandeur, les statistiques, etc. » Et Armel DE LA BOURDONNAYE<sup>17</sup> d'indiquer : « Pour simplifier, nous proposons deux niveaux d'entrée : baccalauréat ou fin de classes préparatoires aux grandes écoles. Pour les bacheliers, un temps de remise à niveau est aujourd'hui nécessaire pour certains, dont le niveau est plus faible, notamment ceux qui n'ont pas suivi l'option mathématiques complémentaires en terminale. Nous constatons plus globalement une hétérogénéité importante et une baisse du niveau en mathématiques : par comparaison, les étudiants du sud de la Méditerranée maîtrisent parfois mieux l'ensemble des briques de base usuelles, ce qui n'est plus le cas des étudiants français, qui aujourd'hui n'ont pas abordé toutes les notions nécessaires (par exemple, les nombres complexes) au lycée. »

16. Directeur des programmes de l'école de management de Grenoble.

17. Directeur de l'Institut national des sciences appliquées Hauts-de-France.

Au-delà de ses effets sur la formation des futurs scientifiques, la baisse de la part des lycéens ayant appris des mathématiques au lycée est alarmante : cet enseignement ne doit pas être réservé aux futurs scientifiques. Les travaux du groupe de travail « Mathématiques et société » (chapitre III) montrent à quel point les mathématiques font partie de la culture générale et permettent à la personne d'appréhender le monde en évolution avec un regard participatif et citoyen.

### V.1.2.3. Éléments de comparaisons internationales

Les études comparatives de systèmes éducatifs et les études de réformes curriculaires menées en éducation mathématique ont permis d'accumuler les connaissances dans ce domaine. Elles montrent aussi des exemples de fonctionnement qui peuvent être source d'inspiration (sur ce thème, voir par exemple l'étude 24 de la Commission internationale de l'enseignement mathématique<sup>18</sup>). En particulier :

- des réformes régulières de l'enseignement des mathématiques sont nécessaires du fait de l'évolution scientifique et technologique rapide, de celle des connaissances issues des recherches sur l'apprentissage et l'enseignement de cette discipline, des moyens de l'enseignement, et de l'évolution des besoins mathématiques de la société. Une périodicité d'environ dix ans (voir l'exemple souvent cité du Japon) semble raisonnable ;
- les réformes curriculaires obéissent à des dynamiques complexes et quelle que soit la qualité de leur conception, il est impossible d'en prédire tous les effets. En d'autres termes, une réforme échappe toujours à ses concepteurs. Des mécanismes de régulation mis en place dans le suivi des réformes contribuent à éviter les phénomènes de balancier souvent observés. Par ailleurs, une mise en place progressive des réformes permet un meilleur contrôle de ces dynamiques (voir l'exemple de la dernière réforme menée en Chine<sup>19</sup>) ;
- pour atteindre leurs objectifs, les réformes doivent associer les différents acteurs impliqués dans toutes les étapes du processus. Par ailleurs, un obstacle identifié est le décalage souvent observé entre l'énergie et les moyens développés pour la conception d'une réforme et ceux développés pour soutenir son implémentation qui doivent être pensés sur une durée de plusieurs années ;
- en novembre 2021, le Centre national d'étude des systèmes scolaires<sup>20</sup> a consacré à la mise en œuvre des politiques éducatives, une conférence de comparaison internationale qui pourrait être entièrement citée à l'appui de ces propos. On retiendra en particulier l'introduction<sup>21</sup> par Christian MAROY et, sur la question de l'implication de tous les acteurs, l'éclairage<sup>22</sup> de José WEINSTEIN ;

18. Yoshinori SHIMIZU & Renuka VITHAL. *Ibid.*

19. Yimin CAO. « *Chinese mathematics curriculum reform in the 21<sup>st</sup> century* », in Yoshinori SHIMIZU & Renuka VITHAL. *Ibid.*

20. Le Centre national d'étude des systèmes scolaires est rattaché au Conservatoire national des arts et métiers, au sein du laboratoire Formation et apprentissages professionnels. Il est un centre d'étude, d'analyse et d'accompagnement des politiques et pratiques éducatives.

21. Christian MAROY. « Légitimation et régulation : deux ressorts de l'institutionnalisation des réformes ». Présentation lors de la Conférence de comparaisons internationales sur la gouvernance des politiques éducatives, novembre 2021. [https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2022/03/Cnesco\\_CCI\\_Gouv\\_PPT\\_Maroy.pdf](https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2022/03/Cnesco_CCI_Gouv_PPT_Maroy.pdf).

22. José WEINSTEIN. « Légitimation et régulation : deux ressorts de l'institutionnalisation des réformes » (en collaboration avec Carlos Eugenio BECA). Présentation lors de la Conférence de comparaisons internationales sur la gouvernance des politiques éducatives, novembre 2021. [https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2022/03/Cnesco\\_CCI\\_Gouv\\_PPT\\_Weinstein.pdf](https://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2022/03/Cnesco_CCI_Gouv_PPT_Weinstein.pdf).



- le travail collaboratif des enseignants nourri d'apports extérieurs est un facteur positif pour l'implémentation des réformes (voir l'exemple du Japon où la pratique des *Lesson Studies*, moyen privilégié de développement professionnel des enseignants, soutient la mise en place des réformes<sup>23</sup>);
- l'étude des réformes récentes met en évidence des tendances fortes dans les évolutions curriculaires : place accrue accordée aux compétences mathématiques, dont la capacité à modéliser, qui permet de résoudre des problèmes issus d'autres disciplines et de la vie quotidienne; introduction de l'algorithmique et de la programmation souvent dès le début de la scolarité en organisant la progression des apprentissages (voir l'exemple de progression en spirale du curriculum finlandais) mais avec des équilibres différents entre algorithmique et programmation suivant les pays; place croissante donnée à la formation en probabilités et statistiques et ce de plus en plus tôt dans la scolarité, notamment pour répondre aux besoins mathématiques d'une formation citoyenne; organisations curriculaires qui combinent compétences et contenus, avec généralement l'identification de compétences spécifiques aux mathématiques (voir l'exemple du projet KOM danois qui a eu une influence internationale indéniable); attention de plus en plus portée au développement d'attitudes positives vis à vis des mathématiques et de la confiance en soi des élèves, au-delà des seuls apprentissages en termes de contenus et compétences (voir par exemple, la définition<sup>24</sup> de « *mathematical proficiency* », les cinq piliers de l'organisation curriculaire de Singapour, le projet Éducation 2030 de l'OCDE).

### V.1.3. Relations entre mathématiques, société et autres disciplines

#### Résumé

Parce que la modélisation est de plus en plus un outil d'aide à la décision, les gouvernements gagneraient à plus s'entourer de personnes ayant suivi une formation mathématique avancée. Plus d'élèves et étudiants devraient avoir accès à un enseignement « pratique » des mathématiques bénéficiant de l'apport des autres disciplines. Si les écoles d'ingénieurs conçoivent des formations assurant un niveau de base solide en mathématiques, la ligne est plus floue dans les écoles de commerce, même si la formation par les mathématiques apporte la capacité analytique et un esprit de synthèse permettant de repérer les points importants dans une situation complexe et prendre rapidement des décisions en trouvant un équilibre entre différents paramètres. Les entretiens relèvent aussi l'importance de développer la formation continue en entreprise sur les sujets théoriques en sciences.

#### V.1.3.1. Constats et état des lieux de la situation actuelle

Sébastien Dejean<sup>25</sup>, en charge d'un enseignement de mathématiques dans un cursus de master alliant mathématiques et biologie, constate que le cœur de son enseignement n'est pas de présenter de nouveaux outils de modélisation à ses étudiants, mais plutôt de leur apprendre à bien choisir parmi ceux dont ils disposent déjà. Il est parfois plus pertinent de calculer une moyenne que d'utiliser un test statistique sophistiqué.

23. Catherine LEWIS, Akihiko TAKAHASHI. « *Facilitating curriculum reforms through lesson study* », *International Journal for Lesson and Learning Studies*, vol. 2, n° 3, p. 207-217, 2013.

24. Jeremy KILPATRICK, Jane SWAFFORD & Bradford FINDELL (éd.) « *Adding it up. Helping children learn mathematics* ». *National Academy Press*, 2001.

25. Ingénieur de recherche, expert en information statistique de l'Université Toulouse - Paul Sabatier affecté à l'Institut de mathématiques de Toulouse (IMT. UMR5219, CNRS, Insa de Toulouse et Université Toulouse - Paul Sabatier).

La série de notes d'orientation produites par l'Unesco en 2022 « *Mathematics for Action: Supporting Science-Based Decision Making* » (Les mathématiques en action : soutenir la prise de décision fondée sur la science) montre que les gouvernements ont tout intérêt à inclure un mathématicien dans leur équipe de conseillers scientifiques. Deux vice-présidents de la Commission internationale de l'enseignement mathématique ont mis en avant lors d'entretiens la nécessité de former un nombre suffisant de mathématiciens et de scientifiques capables de relever les défis du monde contemporain. Les modèles mathématiques permettent d'explorer de multiples scénarios possibles pour infléchir le processus décisionnel : la pandémie de COVID-19 a attiré l'attention du grand public sur la modélisation mathématique ; il est actuellement possible de prédire la trajectoire d'un cyclone tropical une semaine à l'avance, tandis qu'en 2019, elle ne pouvait être prédite que 5 jours à l'avance et en 1970 seulement avec 36 heures d'avance<sup>26</sup>. Il faut donc former des mathématiciennes et des mathématiciens capables d'utiliser les mathématiques pour résoudre des problèmes pratiques, et capables de s'intéresser à d'autres disciplines.

Le souhait de voir la mise en place d'un enseignement pratique des mathématiques n'est pas nouveau. Dès le début du 20<sup>e</sup> siècle, Émile BOREL<sup>27</sup> propose la création de « laboratoires de mathématiques » pour que les élèves puissent se rendre compte du rôle que les mathématiques jouent dans la vie moderne : « Il semble que la valeur éducative de l'enseignement mathématique ne pourra qu'être augmentée si la théorie y est, le plus souvent possible, mêlée à la pratique. » L'idée d'Émile BOREL a été reprise avec quelques adaptations dans les recommandations de la Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques<sup>28</sup>. En 2007, l'inspection générale de l'éducation nationale a remis un rapport sur une expérimentation d'une épreuve pratique de mathématiques au baccalauréat scientifique qui malheureusement n'a pas abouti. Dans l'enseignement supérieur, cette formation pratique des mathématiques existe parfois, mais n'est pas généralisée.

En 2018, deux mesures du rapport VILLANI-TOROSSIAN pour l'enseignement des mathématiques reviennent sur l'importance de l'apport des autres disciplines : « développer et renforcer les échanges entre les autres disciplines et les mathématiques ; expliciter les liens entre la langue française et les mathématiques dès le plus jeune âge » ainsi que l'importance des projets : « assurer, dans les projets disciplinaires ou interdisciplinaires (enseignements pratiques interdisciplinaires<sup>29</sup>, travaux personnels encadrés<sup>30</sup>, projets pluridisciplinaires à caractère professionnel<sup>31</sup>, Grand oral<sup>32</sup>, etc.), une place importante aux mathématiques et à l'informatique ». L'enseignement scientifique en classe de première générale aurait dû permettre la construction d'un enseignement où co-existent mathématiques, physique-chimie et sciences

---

26. Jean-Stéphane DHERSIN, Hans KAPER, Wilfred NDIFON, Fred ROBERTS, Christiane ROUSSEAU & Günter M. ZIEGLER (éd.). « *Forecasting Cyclones. The mathematics of tropical cyclone prediction* » in « *Mathematics for action: supporting science-based decision-making* », p. 35-36, UNESCO, 2022.

27. Émile BOREL. « Les exercices pratiques de mathématiques dans l'enseignement secondaire », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, année 15, n° 9, p. 11-20, 1904. (Conférence faite le 3 mars 1904 au Musée pédagogique à Paris).

28. Jean-Pierre KAHANE (sous la direction de). « L'enseignement des sciences mathématiques ». Rapport au ministre de l'éducation nationale de la Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques, Odile Jacob, 2002. Voir aussi <https://irem.u-paris.fr/documents-rapports-et-annexes-de-la-commission-kahane>.

29. Au collège (NDLA).

30. Dans les lycées généraux (NDLA).

31. Dans les lycées professionnels (NDLA).

32. Épreuve du baccalauréat (NDLA).

de la vie et de la Terre, mais pour des questions de ressources humaines, seuls 6 % de l'enseignement est assuré par des professeurs de mathématiques, et force est de constater que les enseignements disciplinaires sont simplement juxtaposés, sans véritable travail interdisciplinaire.

Avec la réforme de l'enseignement professionnel, les enseignements généraux liés à la spécialité, qui invitaient à une approche pédagogique par compétences et à un enseignement pluridisciplinaire et interdisciplinaire qui fasse sens pour les élèves, ont été remplacés par un enseignement en co-intervention : deux professeurs (l'un relevant de l'enseignement général et l'autre de l'enseignement professionnel) créent ensemble un cours à partir d'une situation professionnelle et font le lien entre les compétences professionnelles nécessaires pour cette situation et le programme d'enseignement général. François MOUSSAVOU nous rapporte que la réussite d'un tel enseignement se heurte à des conditions de ressources humaines : dans des lycées professionnels où l'enseignement de mathématiques-sciences se fait en groupe de 12 élèves, le chef d'établissement ne peut pas se permettre de financer la co-intervention avec cet enseignement général, et préfère la mettre en place dans des cours où les élèves sont plus nombreux, par exemple l'enseignement de gestion.

Dans les formations de niveau bac-3 bac+3, la tendance consiste à encourager les étudiants à se spécialiser dans un nombre de domaines disciplinaires restreints, et les interactions ne sont pas suffisamment travaillées (choix de spécialités en classe de terminale, mention de licences disciplinaires excluant des licences « pluridisciplinaires » ou « sciences et humanités »...) L'évolution des 20 dernières années tend à une spécialisation et une mono-disciplinarité accrue, au lycée comme en licence. Dans le meilleur des cas, en classes préparatoires aux grandes écoles biologie, chimie, physique et sciences de la Terre (BCPST) ou dans des double-licences par exemple, on propose aux étudiants d'étudier plusieurs disciplines dont les enseignements sont juxtaposés, avec une organisation qui ne facilite pas les échanges ou les allers-retours entre les disciplines.

Au niveau master ou en école d'ingénieur, quand bien même une formation à la modélisation est prise en compte, elle répond insuffisamment aux attentes du terrain. Ainsi, un responsable du service des méthodes chez Airbus nous indique qu'une perte de temps considérable est due au fait que les ingénieurs actuellement recrutés n'ont pas assez le sens pratique des mathématiques, contrairement à ceux qui étaient recrutés il y a une vingtaine d'années qui avaient un profil beaucoup plus complet.

### **V.1.3.2. La formation continue dans les entreprises et le monde professionnel**

Les entreprises qui embauchent des ingénieurs ont besoin qu'ils aient un niveau de mathématiques de plus en plus poussé. Face à un problème concret, souvent complexe, ils doivent choisir un modèle pertinent et en connaître précisément les limites. Ils doivent également manipuler de grandes quantités de données. C'est pourquoi les écoles d'ingénieurs conçoivent des formations assurant un niveau de base solide en mathématiques. Au-delà de cette base, suivant les écoles, le niveau de mathématiques peut être plus ou moins développé. Erick HERBIN<sup>33</sup> estime : « Un bon niveau de mathématiques théoriques est nécessaire pour comprendre les applications à la modélisation et éventuellement créer de nouveaux modèles. Cette capacité à aborder de nouveaux problèmes est d'ailleurs appréciée chez les ingénieurs formés en France. »

33. Directeur du département de mathématiques de CentraleSupélec.

Dans les écoles de commerce, la ligne est plus floue. Les mathématiques sont souvent au service du marketing et de la finance et l'enjeu est de savoir si elles seront enseignées par des mathématiciens dans un cours dédié ou si leur enseignement peut être pris en charge par les professeurs de finance et de marketing. Les entreprises recherchent des gens qui ont une capacité analytique et un esprit de synthèse leur permettant de repérer les points importants dans une situation complexe et de prendre rapidement des décisions en trouvant un équilibre entre différents paramètres. Une formation en mathématiques peut apporter ce type de compétences. Jean-François FIORINA indique sur cette question : « Face à la complexité croissante de l'environnement dans lequel vont évoluer les diplômés, il y a un risque important à abandonner tôt les mathématiques, et on ne s'est sans doute pas assez mis d'accord collectivement sur le niveau minimal de mathématiques attendu à chaque niveau, indépendamment du choix de filières. »

Si les compétences apportées par une formation en mathématiques sont appréciées, les entreprises ne semblent pas organiser systématiquement et formellement une formation continue en mathématiques. C'est parfois le cas lorsqu'il faut former les ingénieurs sur des technologies de pointe ou sur la mise à jour de l'état de l'art dans certains domaines, mais des besoins existent aussi sur le maintien ou l'acquisition de savoir disciplinaires fondamentaux. Thomas SCHEER<sup>34</sup> poursuit en ce sens concernant les constats au recrutement, mentionnant : « Les enjeux de formation tout au long de la vie sont donc très importants, puisque nous recrutons des profils dont nous savons qu'ils ne maîtrisent pas toutes nos attentes mais après avoir été convaincus qu'ils pourront être formés. Il serait pertinent que l'on puisse développer la formation continue sur les sujets théoriques en sciences, mais l'offre n'existe pas ou très peu alors que ça peut être un levier essentiel pour progresser au sein de structures comme la nôtre et nous aider à avoir des profils plus complets. »

Corinne HAHN<sup>35</sup> a rapporté au groupe de travail quelques expériences de formation continue en mathématiques dans des milieux professionnels (calculs de pourcentages pour des bijoutiers, géométrie dans l'espace pour l'agencement des rayons dans un supermarché) mais ces formations restent anecdotiques et ont pu avoir lieu grâce à des rencontres de personnes. Pour généraliser ce type de formation, comprendre où elles sont nécessaires, proposer des contenus et modalités pertinents, il faut développer les échanges entre universités et écoles d'une part, et entreprises d'autre part : « La formation continue ne peut se faire sans une acculturation des deux parties [universités et écoles] au monde professionnel. »

Voici quelques exemples de ce qui est à l'œuvre pour opérer ce rapprochement :

- la Société de mathématiques appliquées et industrielles et l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société<sup>36</sup> s'attachent à promouvoir les relations avec les entreprises (voir le chapitre II);
- le Centre international de rencontres mathématiques<sup>37</sup> a mis en place le programme *Interface*<sup>38</sup> d'acquisition et de discussions des outils et concepts mathématiques, informatiques et numériques pertinents pour les industriels;

34. Responsable du Département des méthodes et processus industriels chez Airbus.

35. Professeure à l'École supérieure de commerce de Paris en statistique et auteur d'une habilitation à diriger des recherches en didactique sur la formation en alternance.

36. Unité d'appui et de recherche du Centre national de la recherche scientifique et de l'Université Grenoble Alpes.

37. UAR822. Aix-Marseille Université, CNRS & Société mathématique de France.

38. <https://www.fr-cirm-math.fr/programme-interface.html>.

- les écoles doctorales et les thèses Cifre<sup>39</sup> peuvent quant à elles permettre de rapprocher les doctorants et le monde de l'entreprise.

Le groupe de travail souhaite enfin mentionner l'Institut des hautes études pour la science et la technologie, exemple très particulier, puisque cet institut propose un cycle de formation à des personnes ayant un haut niveau de responsabilités dans des administrations, des entreprises, des institutions, des associations, mais aussi à des influenceurs (journalistes, consultants, lobbyistes). Les formations consistent à projeter un éclairage scientifique sur des enjeux sociétaux actuels et à montrer comment les connaissances et la démarche scientifique se révèlent utiles face à des situations complexes. Si quelques intervenants sont des mathématiciens, Sylvane CASADEMONT<sup>40</sup> souhaite qu'ils soient plus nombreux : « Les mathématiques apportent des compétences directement intéressantes, et des conférences où elles sont en prise avec la réalité peuvent réconcilier les auditeurs avec les mathématiques ou simplement rappeler leur utilité à ceux qui ne les auraient plus pratiquées depuis longtemps. »

### V.1.3.3. Éléments quantitatifs et de comparaison internationale

Cela a été mentionné partie V.1.2, dans la plupart des pays, il est demandé aujourd'hui à l'enseignement des mathématiques de contribuer au développement de compétences de modélisation chez les élèves et les étudiants. On dispose d'un ensemble substantiel de travaux de recherche, de réalisations à tous les niveaux d'enseignement, et de synthèses internationales<sup>41, 42, 43</sup>.

Les questions environnementales sont une source croissante de telles réalisations, de même que, plus récemment, la modélisation de la pandémie due au COVID-19. Néanmoins, l'implémentation à grande échelle et de façon non anecdotique de ces pratiques de modélisation reste problématique. Notamment, parce que les enseignants sont insuffisamment formés, les besoins de l'interdisciplinarité sont sous-estimés, et les pratiques d'évaluation usuelles inadaptées à ces pratiques.

Des exemples existent en France et à l'étranger qui peuvent être source d'inspiration pour la mise en place d'un enseignement basé sur la résolution collaborative de problèmes et la réalisation de projets disciplinaires et interdisciplinaires :

- au Danemark, l'université de Roskilde<sup>44</sup> a été créée en 1972 pour s'interroger sur les méthodes traditionnelles d'enseignement et développer un enseignement basé sur la résolution collaborative de problèmes et la réalisation de projets disciplinaires et interdisciplinaires<sup>45</sup>;

39. Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre) 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.

40. Directrice de l'Institut des hautes études pour la science et la technologie.

41. W. BLUM, P.L. GALBRAITH, H-W. HENN & M. NISS (ed). « *Modelling and Applications in Mathematics Education: the 14th ICMI study* », *New ICMI Study Series*, vol. 10, Springer, 2007.

42. Mustafa CEVIKBAS, Gabriele KAISER & Stanislaw SCHUKAJLOW. « *A systematic literature review of the current discussion on mathematical modelling competencies: state-of-the-art developments in conceptualizing, measuring, and fostering* », *Educational Studies in Mathematics*, vol. 109, p. 205–236, 2022.

43. S. SCHUKAJLOW, G. KAISER & G. STILLMAN. « *Empirical research on teaching and learning of mathematical modelling: a survey on the current state-of-the-art* », *ZDM*, vol. 50, p. 5–18, 2018.

44. <https://ruc.dk/en/research-roskilde-university>.

45. Mogens NISS. « *University Mathematics Based on Problem-oriented Student Projects: 25 Years of Experience with the Roskilde Model* » in Derek HOLTON, Michèle ARTIGUE, Urs KIRCHGRÄBER, Joel HILLEL, Mogens NISS, Alan SCHOENFELD (éd.) « *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level* », *New ICMI Study Series*, vol. 7, Springer, 2007.

- l'étude Icmi 20 (co-organisée par la Commission internationale de l'enseignement mathématique et l'*International Council for Industrial and Applied Mathematics*) consacrée aux interfaces éducatives entre les mathématiques et l'industrie<sup>46</sup>, le terme industrie étant à comprendre au sens large, propose des exemples de réalisations de l'école primaire à l'université;
- à ceci s'ajoutent tous les travaux sur l'intégration de pratiques de modélisation dans l'enseignement des mathématiques (voir les références citées et les synthèses opérées par *The International Study Group for Mathematical Modelling and Applications* affilié à la Commission internationale de l'enseignement mathématique depuis 2003<sup>47</sup>;
- en France au niveau du secondaire, peuvent être cités les travaux du groupe ResCo (Résolution collaborative de problèmes) de l'Institut de recherche pour l'enseignement des sciences de Montpellier en lien avec la thèse<sup>48</sup> de didactique de Sonia YVAIN-PREBISKI, projet innovant sur la modélisation.

#### V.1.4. Formation initiale et continue des enseignants en mathématiques

##### Résumé

La France subit actuellement sa troisième crise de recrutement d'enseignants en mathématiques, les deux premières ayant été résolues par la mise en place d'un système de pré-recrutement ou de bourses. La baisse de salaire et de considération de la profession d'enseignant, le recul de l'âge de recrutement, le manque de visibilité des recrutements, une suite de réformes du système de formation et la gestion erratique des systèmes de pré-recrutement successivement proposés ont probablement tous une part de responsabilité dans la crise actuelle, longue puisqu'ayant débuté dans les années 2010.

« Dans d'autres pays de l'OCDE, il y a une confiance accordée aux enseignants qu'on n'a pas en France, mais en France on n'a plus le temps de les former » rapporte Antoine Bodin<sup>49</sup> au groupe de travail. Dans le même esprit, l'enquête TALIS 2018<sup>50</sup> de l'OCDE révèle un certain malaise des enseignants en France. Les enseignants français éprouvent par exemple moins de satisfaction personnelle dans l'exercice de leur métier que la moyenne de leurs collègues dans l'OCDE et sont d'avantage déçus par la formation continue.

Le manque d'enseignants dans certaines disciplines est un problème qui revient chaque année à la une des journaux lorsque paraissent les résultats des concours de recrutement.

Il convient de rappeler que la crise actuelle du recrutement n'a rien d'original : c'est la troisième depuis les années 1960, (crise au début des années 1960, et dans les années 1980) et les problèmes ont pu être surmontés dans les deux précédentes dès que les efforts nécessaires ont été produits. Ces crises ne sont en rien spécifiques aux mathématiques : on les retrouve dans toutes les disciplines, mais elles sont plus fortes en mathématiques (et aussi en langues, en particulier en anglais) parce que les postes sont plus nombreux dans ces disciplines, et

46. Alain DAMLAMIAN, José Francisco RODRIGUES, Rudolf STRÄSSER. « *Educational Interfaces between Mathematics and Industry. Report on an ICMI-ICIAM-Study* », *New ICMI Study Series*, vol. 16, Springer, 2013.

47. <https://www.ictma.net/>.

48. Sonia YVAIN-PREBISKI. « Étude de la transposition à la classe de pratiques de chercheurs en modélisation mathématique dans les sciences du vivant. Analyse des conditions de la dévolution de la mathématisation horizontale aux élèves ». Thèse de l'Université de Montpellier. 2018.

49. Professeur agrégé de mathématiques.

50. OCDE. « Résultats de TALIS 2018 (Volume I) : Des enseignants et chefs d'établissement en formation à vie », TALIS, Éditions OCDE, 2019.

entrent en concurrence avec d'autres débouchés attractifs. La première crise était due au *baby-boom* et l'arrivée progressive de ses effets au niveau du primaire au début des années 1950, et du collège à la fin des années 1950; elle a été résolue au milieu des années 1960 par la mise en place d'un système de pré-recrutement efficace, les Instituts de préparation aux enseignements de second degré.

La baisse très brutale et rapide du nombre de recrutements dans les années 1970 (en mathématiques, 1400 postes offerts en 1974 et 170 postes offerts en 1980, une division par plus de 8 en 6 ans) a déstabilisé le système des Instituts de préparation aux enseignements de second degré, et conduit à leur suppression dans cette période. La remontée des recrutements (plus de 2000 en 1992) a créé une nouvelle crise, résolue par la mise en place à partir de 1990 d'un système de bourses qui est venu à bout du problème en quelques années.

Des années 60 aux années 2010, le principal déterminant du nombre de candidats est le nombre de postes proposés, avec un effet retard d'environ 4 ans. Cette corrélation semble s'affaiblir depuis 2010 : la baisse de salaire et de considération de la profession d'enseignant, le recul de l'âge de recrutement (dans le cadre de la réforme appelée « mastérisation »), le manque de visibilité des recrutements, une suite de réformes du système de formation et la gestion erratique des systèmes de pré-recrutement successivement proposés ont probablement tous une part de responsabilité dans cette crise longue.

La formation des enseignants se fait à l'interface de deux ministères : celui de l'éducation nationale et celui de l'enseignement supérieur. Les partenaires académiques sont les rectorats et les universités, notamment leur composantes Instituts supérieurs de l'éducation et de la formation. Au niveau de la formation initiale, la collaboration se concrétise dans l'organisation de la formation (universitaire) autour des stages (dans des établissements scolaires) et dans la composition variée des équipes pédagogiques. Au niveau de la formation continue, l'université est moins impliquée. Les Instituts de préparation aux enseignements de second degré participent à la mise en œuvre, et les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques jouent, depuis leur création en 1969 un rôle historique dans la formation des enseignants de mathématiques.

Certains éléments sont des invariants mais d'autres sont très instables. Ils sont modifiés à chacune des réformes qui se succèdent (en moyenne une tous les 4 ans ces douze dernières années, voir tableau V.1.2 page suivante), sans apporter la stabilité espérée. Pour devenir enseignant avec le statut de fonctionnaire, il faut réussir un concours puis, à l'issue d'une année de stage, être titularisé. Depuis 2010, s'ajoute l'obligation d'avoir un master et l'articulation entre le processus de titularisation et le master a été un des enjeux des réformes successives. Le master dédié à la formation des enseignants du premier et du second degré est le master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation (Meef). Au sein du master, la formation vise de multiples équilibres : elle doit préparer au concours et au métier; elle a une composante académique (apport de connaissances ou compétences disciplinaires, didactiques et pédagogiques) et une composante pratique (stages, avec une progression dans la prise de responsabilité dans les classes). Les étudiants doivent également réaliser un mémoire de recherche sur une question professionnelle. La recherche de ces équilibres et l'organisation des stages sont aussi un enjeu récurrent des réformes.

Trouver cet équilibre et bâtir un ensemble cohérent abordant toutes les facettes de la formation demande du temps et une sérénité qui ne semblent pas accessibles en raison des obstacles auxquels on se heurte :

Tableau V.1.2– Les réformes de la formation des enseignants depuis 2010.

Réforme	2010. « Masterisation » et intégration des Instituts universitaires de formation des maîtres (IUFM) dans les universités.	2013. Création des Espe et des masters Meef.	2020. Les Espe deviennent des Inspe. La formation doit s'inscrire dans un continuum bac-3/bac+3.
Position du concours	M2	M1	M2
Stage	En M1, possibilité d'organiser un stage d'observation. En M2, stage en responsabilité de moins de 108h.	En M1, un stage d'observation de 4 à 6 semaines. En M2, un mi-temps en responsabilité qui est aussi le stage conduisant éventuellement à la titularisation.	En M1, un stage d'observation de 6 semaines. En M2, un stage de 12 semaines : observation et pratique accompagnée, ou en responsabilité et rémunéré (sur candidature).
Année de fonctionnaire-stagiaire	Après le M2. Enseignement à temps plein et quelques jours de formation.	Pendant le M2, à mi-temps.	Après le M2. Pour les lauréats issus d'un master Meef : enseignement à temps plein et formation d'une durée de 10 à 20 jours ; pour les lauréats issus d'un master autre que Meef : enseignement à mi-temps et formation à mi-temps.



- la trop grande fréquence des réformes et le manque de suivi : depuis 2010, les réformes s'accumulent sans évaluation sérieuse et sans améliorer le fonctionnement du système. Elles génèrent souvent plus de problèmes qu'elles n'en résolvent. Par exemple, la réforme de 2020 a provoqué une période de transition de trois ans sur l'organisation administrative des masters métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation, alors que la fréquence moyenne des réformes est de 4 ans<sup>51</sup> ;
- la précipitation permanente : c'est la conséquence logique du point précédent. Par exemple, pour la mise en place de la réforme 2020, le ministère a communiqué au réseau des Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation les textes de cadrage pour la formation et pour le concours séparément très tardivement, et sans tenir compte du calendrier administratif d'élaboration des maquettes<sup>52</sup>. Ainsi, la mise en œuvre, initialement prévue pour septembre 2020 de façon progressive (d'abord en première année de master (M1), puis en deuxième année (M2)) a dû être repoussée à septembre 2021, sans progression. Alors que les maquettes, objets de longues négociations à la recherche d'un équilibre fragile, étaient presque terminées, l'injonction parvenue en janvier 2021 d'y ajouter des modules d'une vingtaine d'heures sur des sujets imposés, a encore perturbé le travail<sup>53</sup>. La difficulté à trouver un équilibre entre les différentes facettes de la formation, avec des acteurs appartenant à différentes structures, nécessiterait au contraire un cadrage cohérent donné en une seule fois et bien à l'avance ;
- le cloisonnement des structures (voir la figure V.1.3 page suivante). En principe, les équipes sont plurielles : formateurs, enseignants et enseignants-chercheurs de l'université, attachés à l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation ou à des composantes dites « disciplinaires », enseignants du secondaire ou du primaire, cadres de l'éducation nationale, etc. mais les pratiques différentes et les barrières administratives entre ces structures sont un obstacle à la conception et à la mise en œuvre concertée et optimale des maquettes. Une énergie considérable se perd sur ces frontières.

Le poids de l'histoire (les Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation sont les héritiers des Instituts universitaires de formation des maîtres qui n'étaient pas des composantes universitaires, et ne se perçoivent pas tous comme telles) et le manque de moyens (chacun étant soucieux de faire en priorité ce qu'il peut dans sa structure) renforcent ces obstacles. Ainsi, pour le bureau du réseau des Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation, l'idée que les enseignants de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation pourraient intervenir dans les licences des unités de formation et de recherche<sup>54</sup> disciplinaires ne semble pas réalisable, alors que cela pourrait être très utile pour ce qui concerne la préprofessionnalisation.

Faute de trouver cet équilibre la formation initiale est mal conçue et peu attractive :

- la deuxième année de Master est bien trop ambitieuse : les étudiants doivent réaliser un stage, et rédiger un mémoire tout en préparant le concours ;
- l'organisation des stages est extrêmement compliquée et socialement inéquitable<sup>55</sup> ;

51. Louise NYSSSEN. « Réforme de la formation des enseignants ». Sur le site de la Société mathématique de France [https://smf.emath.fr/sites/default/files/2020-02/Formation\\_enseignants\\_synthese-v7.pdf](https://smf.emath.fr/sites/default/files/2020-02/Formation_enseignants_synthese-v7.pdf). 2020.

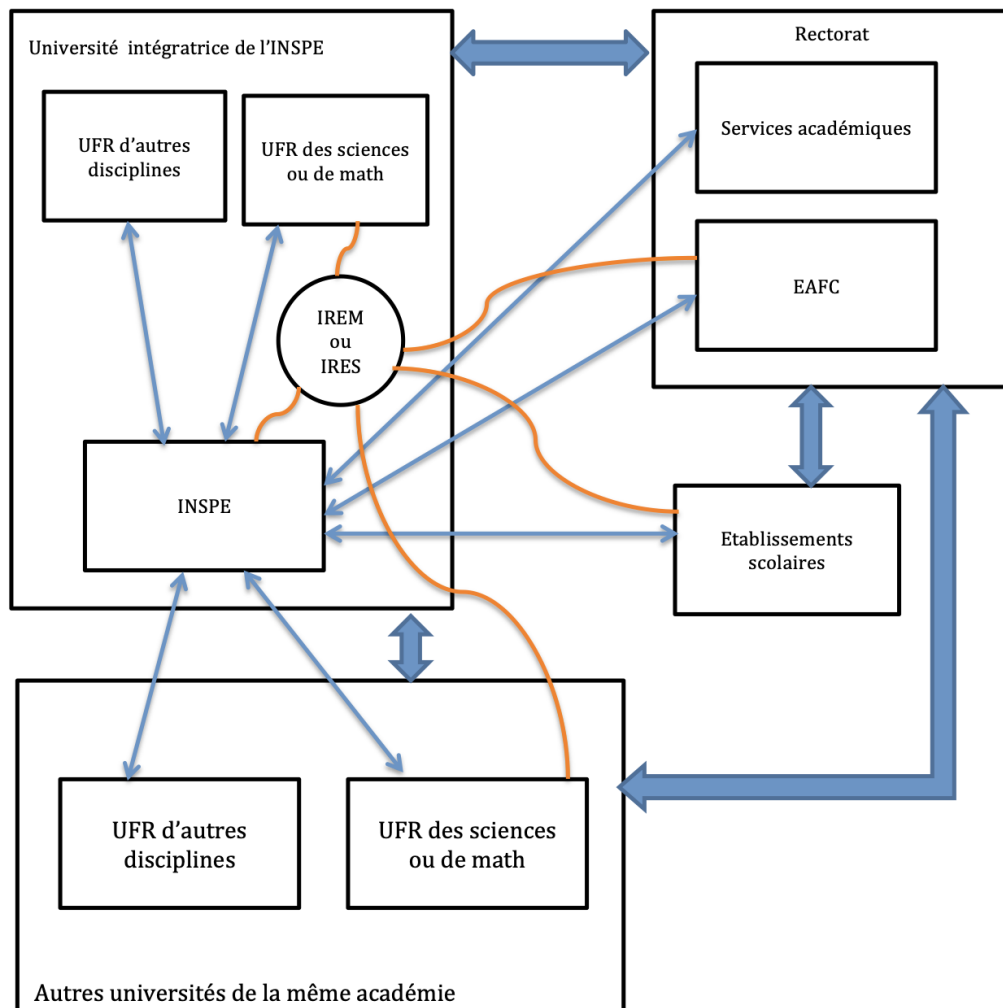
52. Le cadrage des formations relève de l'arrêté du 24 juillet 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042211054>) et celui des concours du 25 janvier 2021 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043075486>).

53. Le bulletin officiel de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports n° 2 du 14 janvier 2021. <https://www.education.gouv.fr/bo/21/Hebdo2/MENE2032812A.htm>.

54. Les unités de formation et de recherche regroupent des départements (ou divisions) de formation, des laboratoires et des centres de recherche universitaires.

55. Deux modalités de stage co-existent : une en pratique accompagnée, l'autre en alternance, rémunérée, accessible sur candidature. Cette dernière demande à ceux qui s'y engagent un temps et une énergie considérable qu'ils ne pourront pas consacrer à la préparation du concours.

Figure V.1.3- Les structures concernées par la formation des enseignants dans chaque académie.



**NB.** Les Écoles académiques de formation continue (EAFC) ont vocation à accompagner le développement professionnel individuel des personnels de l'éducation nationale avec un suivi tout au long de la carrière et à proposer une aide à la construction d'un parcours de formation adapté. Elles sont déployées depuis janvier 2022.

- les équipes pédagogiques sont épuisées.

Ces constats ont déjà été faits lors de réunions de formateurs et enseignants intervenant dans les masters métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation, et ressortent dans les divers entretiens qui ont abordé la question de la formation des enseignants<sup>56</sup>. La difficulté à obtenir des données quantitatives fiables sur tout ce qui concerne les masters métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation, témoigne du manque de suivi institutionnel.

La formation des enseignants concerne toutes les disciplines enseignées dans le secondaire et le primaire, mais les mathématiques présentent des spécificités :

- dans le premier degré, on manque de candidats bien formés pour enseigner les mathématiques (cet argument est revenu lors de nos entretiens avec le réseau des Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation et avec Ollivier HUNAUT<sup>57</sup>);
- il est aussi rappelé par l'OCDE, Éric CHARBONNIER<sup>58</sup> indique : « Plus qu'un problème d'attractivité des carrières, il y a un problème de compétences des enseignants : beaucoup d'enseignants du premier degré ont une formation littéraire et leur niveau en sciences et en mathématiques n'est pas suffisant ou remis à niveau une fois qu'ils sont enseignants. Ainsi, selon une étude Timss, les enseignants français de l'école élémentaire sont les plus complexés pour aider en mathématiques les élèves en difficulté »;
- dans le second degré, il est constaté un important manque de candidats (voir figure V.1.4 page suivante). Le Capes<sup>59</sup> est déficitaire depuis 2011, comme le rappellent les statistiques disponibles dans le rapport du jury. Ce concours attire surtout des étudiants fragiles en mathématiques tandis que les candidats les plus solides sont orientés vers la préparation de l'agrégation<sup>60</sup> (qui est essentiellement disciplinaire) ou vers des cursus qui ne conduisent pas à l'enseignement;
- dans le premier degré comme dans le second en mathématiques, la formation des personnes en reconversion professionnelle est mal prise en charge. Pourtant, une part importante des candidats au concours, estimée à la moitié par le ministère, est dans cette situation. La réforme actuelle, avec le concours en deuxième année de master rend plus difficile pour ces personnes de s'intégrer à la formation en amont (le master est prévu sur deux ans mais elles ne bénéficient généralement des aides financières que pendant un an). Si elles réussissent le concours en candidat libre, elles sont à mi-temps pendant leur première année de stage. La formation prévue est indigente, en particulier pour les futurs professeurs des écoles qui doivent se former à l'enseignement de différentes disciplines;
- pour lutter contre les effets de la multiplication des structures, les mathématiciens peuvent compter, dans presque chaque académie, sur un Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques, ce qui a facilité une approche de travail collectif : dans les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, des enseignants-chercheurs disciplinaires ou didacticiens, des formateurs, et des enseignants du secondaire et du primaire se retrouvent pour travailler sur des questions d'enseignement. Ils ont ainsi une habitude de collaborer qui représente un atout pour les masters métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation et pour la formation continue. Mais ils ont parfois du mal à mener leurs actions, faute de moyens et de reconnaissance.

---

56. Louise NYSSSEN, 2020. *Ibid.*

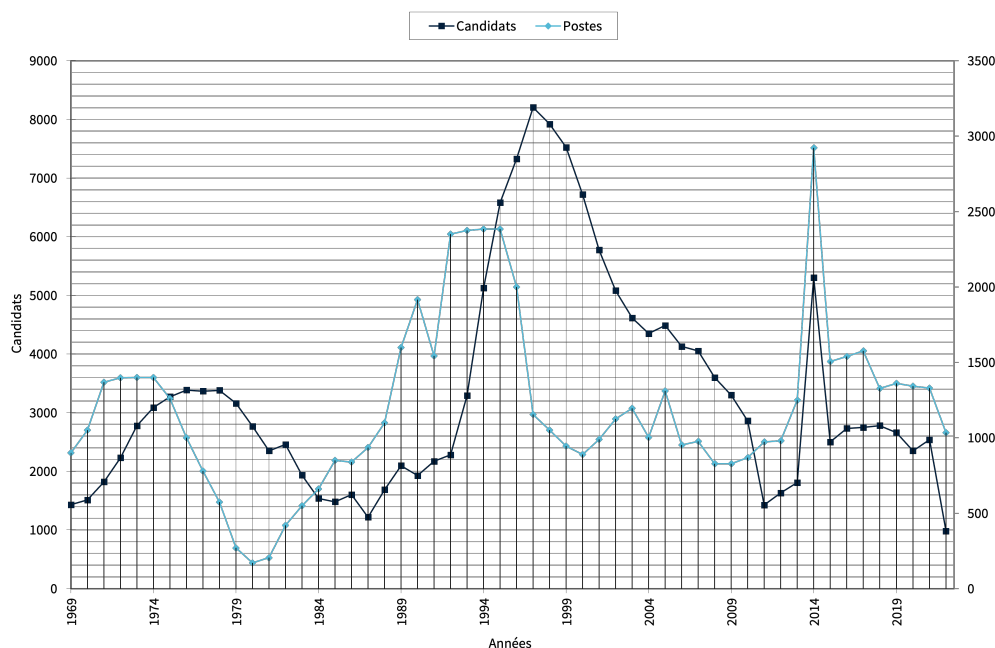
57. Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche.

58. Analyste à l'OCDE et responsable de l'étude Pisa en France.

59. Le certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré (Capes) est un concours de recrutement du ministère en charge de l'éducation nationale permettant de devenir professeur de collège ou de lycée.

60. Le concours d'agrégation du second degré est un concours de recrutement du ministère en charge de l'éducation nationale permettant de devenir professeur agrégé dans les collèges, lycées et classes préparatoires aux grandes écoles.

Figure V.1.4– Candidats et postes au Capes de Mathématiques.



Source : Pierre ARNOUX. Communication directe.

Il est donc absolument nécessaire d'arrêter les réformes incessantes de la formation initiale, mais il est hasardeux de rester dans la situation actuelle propice au découragement à la fois des étudiants et des formateurs. Prendre le temps de réfléchir, avec les différents acteurs, à une évolution de la formation qui puisse concilier la réalité du terrain avec les attentes de l'institution fournirait enfin une issue à cette contradiction.

La nécessité de développer la formation continue semble entendue. Charles TOROSSIAN<sup>61</sup> a exprimé cette nécessité en audition par le groupe de travail : « Il faut sacrifier les moyens dédiés à la formation continue, notamment si on pense que la formation tout au long de la vie fait partie du référentiel métier. »

Les observations menées sur le terrain, comme le rapport VILLANI-TOROSSIAN de 2018, ont permis de dresser un constat pertinent des problèmes liés à la formation continue en mathématiques. Des mesures ont été mises en place, dans le cadre du « Plan mathématiques », qui ont des effets positifs mais méritent d'être davantage soutenues et pérennisées :

- dans le premier degré la formation en constellation, par des référents mathématiques de circonscription. Ce dispositif commence à porter ses fruits mais se heurte à des problèmes de ressources humaines. On observe une tendance à remplacer les référents mathématique de circonscription, qui sont professeurs des écoles par des conseillers pédagogiques de circonscription qui sont des supérieurs hiérarchiques, ce qui risque d'altérer la formation. De plus, les référents mathématique de circonscription eux-mêmes doivent être formés régulièrement et cette formation est compliquée à organiser ;

61. Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche, directeur de l'Institut des hautes études de l'éducation et de la formation.

- dans le second degré, les laboratoires de mathématiques, appelés *labomaths*<sup>62</sup>, au sein des établissements, conçus comme des lieux de formation et de réflexion des équipes, en lien avec l'enseignement supérieur. Mais ils manquent de moyen pour se développer à la hauteur des attentes.

Par ailleurs, il faut renforcer l'appui de la formation continue sur la recherche. Les chercheurs interrogés, (Brigitte GRUGEON<sup>63</sup>, LUC TROUCHE<sup>64</sup>, Aline ROBERT<sup>65</sup>) soulignent l'importance de partir des pratiques réelles des enseignants et de mettre en place des outils qui leur permettent de les analyser et de les enrichir, en prenant en compte les contraintes du terrain.

Les chercheurs en didactique développent une littérature dite « d'interface », où ils s'efforcent de mettre à la disposition des enseignants des premier et second degrés les résultats de leur recherche<sup>66</sup>. Encore faut-il que les enseignants s'en emparent, et pour cela, il faut les accompagner, ce qui doit être un des rôles de la formation continue. Les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, où se retrouvent enseignants et chercheurs, ont naturellement un rôle important à ce niveau.

## V.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### V.2.1. Introduction

Toutes les pistes envisagées demandent l'intervention des ministères en charge de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur. La plupart demandent aussi une collaboration effective entre les deux.

Ces mesures demandent aussi que soient consultés les acteurs de terrain : les associations de professeurs, les chercheurs qui consacrent leur recherche à l'enseignement des mathématiques, les acteurs engagés dans la diffusion des mathématiques ou la formation des enseignants... La communauté mathématique a la chance et la particularité d'être très bien structurée. Il existe de nombreuses associations et sociétés savantes qui réfléchissent à la façon d'améliorer les mathématiques et leur perception par la société. Elles sont coordonnées par la Commission française pour l'enseignement des mathématiques qui, par son rôle fédérateur et représentatif, devrait être un interlocuteur privilégié.

Tous les échelons de l'université devraient être mieux informés et sensibilisés, pour une meilleure collaboration des Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation avec les directeurs des autres composantes et des présidents d'université conscients des enjeux.

Enfin, il est illusoire d'espérer en modifier un aspect de ce système complexe indépendamment des autres car toute modification a des répercussions sur l'ensemble. Une réflexion globale est indispensable.

---

62. « Vademecum. Laboratoire de mathématiques. » Rédigé par Bruno CAILHOL, Marc DE FALCO, Alice ERNOULT, Régis LECLERCQ, Alexandre MARINO, Christian MERCAT, Vincent MERCAT, Benoit PATEY, Olivier PINSON, François RECHER et Miguel TOQUET sous la direction de Charles TOROSSIAN. Il existe une version de ce document pour la mise en œuvre en collège. <https://eduscol.education.fr/1469/laboratoires-de-mathematiques>.

63. Professeure à l'Université Paris Est Créteil.

64. Professeur émérite à l'école normale supérieure de Lyon.

65. Professeure émérite à l'Université de Cergy-Pontoise.

66. Par exemple, les revues *Grand N*, *petit x*, ou *Repères Irem*.

Les réformes engagées doivent être soutenues en termes financiers et humains. La cohabitation de plusieurs tutelles nécessite une concertation sur l'importance et la mise à disposition de ces moyens. De plus, les universités comme les rectorats bénéficient d'une grande autonomie. Comment dans ces conditions, sacraliser des moyens pour la formation initiale et pour la formation continue ?

Voici l'avis de Charles TOROSSIAN sur cette question : « Dans les transformations profondes qu'on souhaite voir aboutir, il y a la question du renforcement de l'outil de formation au plus près de terrain auprès des responsables que sont les chefs d'établissement et les inspecteurs (conseillers pédagogiques de circonscription, conseillers pédagogiques second degré, etc.) Il ne fait plus de doute pour personne que la formation représente un réservoir d'efficacité pédagogique colossal, pour peu qu'elle soit accompagnée par les décideurs de proximité (*leadership* pédagogique). Or les contraintes de la loi organique relative aux lois de finances, qui consiste à donner plus d'autonomie aux gestionnaires de programmes dans le choix d'affectation de la ressource financière en échange d'une responsabilité managériale accrue, nécessitent de penser en amont "la preuve de concept" pour faire bouger les lignes et porter le changement d'opinion des décideurs de haut niveau. Il faut donc créer le besoin, démontrer son utilité, être en capacité de mesurer un impact ou une satisfaction, pour le voir ensuite accompagné en termes de politiques publiques à grande échelle. C'est ce qu'on appelle les politiques publiques basées sur les preuves (*evidence-based policy*). Le cœur de l'innovation réside donc dans une étape préliminaire, qui peut paraître parfois difficile pour les acteurs qui sont mis sous tension faute de soutien systémique jusqu'au point de bascule. »

Ainsi, du fait des contraintes que les décideurs se sont imposés, la seule solution pour évoluer consisterait à « mettre en tension les acteurs (...) jusqu'au point de bascule », ce qui peut leur « paraître parfois difficile ». On retrouve ici, avec un autre point de vue, des commentaires qui sont revenus régulièrement lors des échanges avec les personnalités consultées sur la fréquence des réformes, la rapidité de leur mise en place et le caractère très vertical, avec peu de rétroaction, de leur gestion. Le malaise de nombreux enseignants n'est pas un accident, mais une conséquence du mode de gestion des réformes. Le parallèle avec d'autres problématiques de gestion des ressources humaines apparues ces dernières années dans des grandes structures publiques ou privées, est inquiétant. C'est pourquoi, le groupe de travail réitère ses vœux pour une concertation collégiale, certes plus lente à apporter des solutions, mais qui apporte des solutions pérennes, mieux partagées et un véritable engagement de ceux qui doivent les mettre en œuvre.

## V.2.2. Conception, mise en œuvre et suivi des réformes

### Proposition V.1

Élargir la gouvernance du système en associant effectivement la communauté de l'enseignement des mathématiques à la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des réformes et, plus largement, des politiques publiques les concernant.

Comme souligné partie V.1.2 page 75, il importe de réduire la fréquence des réformes, de penser davantage en termes de suivi et de régulation, et de rompre avec un pilotage de ces réformes beaucoup trop éloigné du terrain. Pour cela, il est important d'associer plus étroitement la communauté d'enseignement des mathématiques à la conception, la mise en place, le suivi et l'évaluation des réformes. Il importe également que les prises de décisions soient précédées d'expérimentations reconnues par la communauté de l'enseignement des mathématiques, avant de généraliser leur implémentation à tout le territoire. Cela peut se

faire notamment en s'appuyant sur un réseau d'établissements pilotes clairement identifié. Ce réseau permettra également d'accompagner la mise en place et le suivi des réformes au plus près du terrain, et un travail collaboratif des enseignants nourri des acquis de la recherche (voir aussi la partie V.1.4 page 86).

Par exemple, c'est une réflexion collective avec des interlocuteurs reconnus par la communauté de l'enseignement des mathématiques, qui devrait permettre à moyen terme le rétablissement d'un enseignement des mathématiques pour tous les élèves jusqu'à la fin du lycée avec des programmes adaptés aux besoins, capacités et intérêts des élèves.

Remettre des mathématiques de façon cohérente pour tous les élèves dans le contexte d'une réforme à peine installée est un exercice difficile qui demande une réflexion de fond ; ce travail est cependant nécessaire : les travaux internationaux, tout comme les entretiens, ont bien mis en évidence que, pour répondre aux défis actuels, une culture mathématique solide et partiellement renouvelée est nécessaire à tous. On peut certes penser que les élèves qui auront choisi la spécialité mathématique en première et terminale, et suivi l'enseignement de mathématiques expertes en terminale, seront préparés à suivre des études mathématiques à l'université ou en classe préparatoire scientifique ; mais les données disponibles montrent que ce schéma d'études au lycée s'opère au prix d'une réduction très importante du nombre d'élèves bénéficiant d'un enseignement de mathématiques jusqu'à la terminale incluse, avec des effets particulièrement forts pour les filles et les élèves de milieux sociaux défavorisés. C'est pourquoi il semble nécessaire au groupe de travail de rétablir un enseignement des mathématiques pour tous les élèves jusqu'à la fin de la scolarité secondaire, comme c'est le cas dans les pays où l'enseignement est le plus performant, avec des différenciations appropriées selon les intérêts, capacités et projets des élèves. Cet enseignement doit viser non seulement le développement de contenus et de compétences mathématiques mais aussi celui d'attitudes positives vis-à-vis des mathématiques et de la confiance en eux des élèves. Cette approche renouvelée est nécessaire pour réduire l'influence dans la société des stéréotypes associés aux mathématiques et particulièrement important pour tous ceux qui auront à leur tour à enseigner cette discipline.

Pour associer plus étroitement la communauté d'enseignement des mathématiques à la conception, la mise en place, le suivi et l'évaluation des réformes, la France peut opportunément compter sur une structure efficace, la Commission française pour l'enseignement des mathématiques, qui est historiquement la sous-commission française de la Commission internationale de l'enseignement mathématique, elle-même la commission en charge des questions d'enseignement de l'Union Mathématique Internationale. La Commission française pour l'enseignement des mathématiques rassemble les sociétés savantes et associations impliquées dans l'enseignement des mathématiques, et inclut aussi des représentants de l'Académie des sciences et de l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche. Cette structure permet un travail collaboratif de réflexion des principaux acteurs de l'enseignement des mathématiques et l'élaboration de positions de consensus prenant en compte la diversité des acteurs et profitant de leurs expertises respectives. Pour aider à pallier les difficultés mentionnées ci-dessus, le groupe de travail recommande une véritable association de la Commission française pour l'enseignement des mathématiques aux réformes curriculaires concernant l'enseignement des mathématiques, de leur conception à leur suivi et évaluation. La Commission française pour l'enseignement des mathématiques, comme sous-commission française de la Commission internationale de l'enseignement mathématique, peut aussi aider à mieux prendre en compte les réussites internationales dans ce domaine qui peuvent être source d'inspiration pour notre système et l'état actuel de la recherche en éducation mathématique sur les questions curriculaires.

Pour réaliser des expérimentations reconnues par la communauté de l'enseignement des mathématiques avant de généraliser leur implémentation à tout le territoire, il est possible de s'appuyer sur :

- l'expertise de l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public et du réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, membre de la Commission française pour l'enseignement des mathématiques qui a une excellente connaissance du terrain de l'enseignement des mathématiques et des difficultés rencontrées par les enseignants pour faire sens des réformes curriculaires et s'y adapter dans un contexte particulièrement contraint en termes de formation des enseignants. On pourra pour cela s'inspirer de ce qui a été fait avec succès en France pour la réforme du collège des années 80 en s'appuyant sur le réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, qui a permis à tous les enseignants de disposer de ressources testées au moment où s'est généralisée la mise en place de la réforme et aussi lors de la réforme du lycée général de 2000 pour aider à la mise en place des travaux personnels encadrés ;
- des établissements pilotes tels que les *Lieux d'éducation associés* (LÉA) de l'Institut français de l'éducation<sup>67</sup> ou encore les *labomaths* plus récemment mis en place dans le cadre du Plan Mathématiques qui a suivi la publication du rapport VILLANI-TOROSSIEN, d'abord au niveau lycée et plus récemment au niveau collège. Ces laboratoires peuvent a priori utilement soutenir les dynamiques d'implémentation des réformes. Ce sont des structures où les enseignants peuvent faire émerger des besoins, bénéficier d'apports de la communauté mathématique au sens large, développer et mutualiser des ressources. C'est pourquoi le groupe recommande de pérenniser ces structures et de leur assurer des moyens et conditions de fonctionnement appropriés, et également de favoriser les connexions et synergies avec le réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques où collaborent déjà enseignants, formateurs d'enseignants et chercheurs.

Pour réfléchir à la façon de remettre des mathématiques où il en manque, d'une manière cohérente avec l'ensemble des enseignements, le groupe recommande d'installer un groupe de travail rassemblant des acteurs institutionnels et des acteurs de terrain, en consultant la Commission française pour l'enseignement des mathématiques sur sa composition. L'objectif serait de proposer une structure et un programme effectifs à la rentrée 2023.

Pour la réussite de la mise en œuvre de la proposition, il est nécessaire :

- que l'institution (les divers ministères et directions concernés) s'engage dans la concertation sur le long terme et lui donne les moyens d'exister ;
- que le calendrier et la composition suffisamment variée des groupes de travail permettent des discussions apaisées et une réelle prise en compte des points de vue et expertises des différents acteurs dans l'élaboration des solutions proposées ;
- que le processus soit suffisamment bien installé pour n'être pas interrompu par les changements de gouvernement ;
- que les membres de ce groupe soient des représentants de leurs communautés, reconnus comme tels par leur communauté.

Il est également nécessaire d'estimer la charge de travail induite pour les personnes engagées dans cette concertation et de la maintenir à un niveau qui ne les oblige pas à se couper de la communauté qu'ils sont censés représenter.

67. L'Institut français de l'éducation (IFÉ) est un centre de recherche et de diffusion des savoirs dans le domaine de l'éducation. Intégré à l'École normale supérieure de Lyon. Il est le lointain descendant du Musée pédagogique dans lequel Émile BOREL prononça en 1904 la conférence mentionnée page 82.



### V.2.3. Relations entre les mathématiques, la société et les autres disciplines

#### Proposition V.2

Tant dans l'enseignement secondaire que dans l'enseignement supérieur, dédier des temps à des travaux pratiques de mathématiques ou au développement de projets interdisciplinaires.

Comme signalé dans le constat, la communauté mathématiques recommande depuis longtemps la mise en place de travaux pratiques de mathématiques. Les élèves ou les étudiants pourraient y apprendre à :

- choisir les outils ou les techniques mathématiques permettant de résoudre des problèmes issus, par exemple, d'autres disciplines;
- modéliser des situations, étudier le modèle et le confronter à la réalité;
- travailler de manière collaborative dans une démarche de projet.

Pour les étudiants et les élèves que l'abstraction effraie (ce qui n'est pas le cas de tous), les travaux pratiques peuvent s'avérer moins anxiogènes que des exercices classiques, et les approches pluridisciplinaires peuvent donner de l'intérêt aux mathématiques.

Dans l'enseignement supérieur, il est recommandé que des enseignements de travaux pratiques de mathématiques soient mis en place, sur le modèle de ce qui est proposé en sciences expérimentales :

- au sein d'unités d'enseignement<sup>68</sup> classiques quand cela permet aux étudiants de mêler théorie et pratique;
- dans des unités d'enseignement spécifiquement dédiées à un travail de modélisation nécessitant de faire appel et de choisir des techniques ou des outils mathématiques qui ont pu être introduits plusieurs années auparavant.

En ce qui concerne l'évaluation de ce type d'enseignement, il est possible de s'inspirer d'un rapport de 2007 de l'Inspection générale de l'éducation nationale sur une expérimentation d'une épreuve pratique de mathématiques au baccalauréat scientifique<sup>69</sup>. Dans un cadre où le français et les mathématiques seraient considérés de manière similaire dans l'enseignement secondaire, de même qu'il existe deux épreuves anticipées de français au baccalauréat (une écrite et une orale), deux épreuves anticipées de mathématiques pourraient être mises en place au baccalauréat : une écrite et une pratique.

Une condition essentielle de la réussite de la mise en place de cette proposition est la reconnaissance et la valorisation de l'investissement nécessaire à la mise en place d'enseignements pratiques ou interdisciplinaires. La mise en place de tels enseignements des mathématiques demande en effet un temps de conception et de concertation bien supérieur au temps passé pour concevoir un enseignement de mathématiques classique. Ce temps est indispensable pour que les élèves ou les étudiants prennent conscience des liens et des apports mutuels d'une discipline à l'autre. Si par exemple un traitement mathématique est nécessaire sur certaines équations rencontrées en cours de biologie, il faut prendre en charge pour les élèves ou les étudiantes et étudiants, le processus de modélisation, les différences de notation et de langage, et la façon d'interpréter en biologie les résultats mathématiques

68. Les diplômes sont obtenus après avoir suivi un parcours de formation formé d'un ensemble cohérent d'*unités d'enseignement* permettant une structuration en blocs de connaissances et de compétences. (Article 3 de l'arrêté du 22 janvier 2014 fixant le cadre national des formations conduisant à la délivrance des diplômes nationaux de licence, de licence professionnelle et de master modifié par l'article 2 de l'arrêté du 30 juillet 2018).

69. « Expérimentation d'une épreuve pratique de mathématiques au baccalauréat Scientifique ». Rapport de l'Inspection générale de l'éducation nationale - n° 2007-24, mars 2007. Rapporteur : Marc FORT.

obtenus. Cela demande un travail de concertation qui tienne compte, non seulement des notions étudiées mais aussi de la temporalité du cours. Sans cela, on propose en cours de mathématiques une équation qui est « à peu près » celle du cours de biologie, enrobée d'un habillage biologique approximatif, qui jette le doute sur l'authenticité du lien avec le cours de biologie. Il est recommandé donc que le temps passé par les enseignants pour acquérir la culture d'une autre discipline (son langage, son épistémologie...) soit reconnu et valorisé par l'institution. Le groupe de travail recommande que :

- dans le second degré, le temps de concertation soit valorisé financièrement, et que des créneaux horaires dédiés soient définis dans l'emploi du temps des enseignants;
- en lycée professionnel, les moyens mis sur de la co-intervention soient réinvestis sur ce temps de concertation indépendamment de la taille du groupe d'élèves bénéficiant de ce type d'enseignement;
- dans l'enseignement supérieur, ce temps soit reconnu par l'attribution de moyens tels que le référentiel d'équivalence horaire, les primes pédagogiques, les congés pour projet pédagogique, etc.

Par ailleurs, le groupe de travail recommande que dans le second degré aussi bien que dans l'enseignement supérieur, des formations des enseignants soient mises en place et que ces formations s'appuient sur des exemples issus des travaux réalisés dans les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et les académies. Ces projets doivent pouvoir être expérimentés au sein d'établissements pilotes, par exemple les lycées ou les collèges accueillant des *labomaths* mis en place dans le cadre du Plan mathématiques faisant suite au rapport VILLANI-TOROSSIAN.

La proposition V.2 page précédente gagnerait à être mise en œuvre en réseau national et pas uniquement localement. C'est l'objet de la proposition suivante (et de la proposition V.7 page 100).

### Proposition V.3

Avoir une réflexion nationale impliquant les acteurs de terrain sur la place des travaux pratiques et des projets interdisciplinaires au sein des licences de mathématiques.

L'autonomie des universités n'est pas totale puisque que, par exemple, les intitulés de licence sont définis par arrêté ministériel. Elle n'empêche donc pas la communauté mathématique (par exemple représentée par un membre de département de mathématiques de chaque université) de réfléchir aux objectifs des licences de mathématiques et de proposer, en fonction de ces objectifs, un cadre commun des programmes. Ce cadre commun, qui ne serait qu'une proposition faite à chaque département de mathématiques, pourrait ensuite, si besoin, être adapté au contexte local.

### Proposition V.4

Développer une offre de formation continue répondant aux attentes du monde professionnel.

Il est nécessaire de développer les liens entre les universités et les entreprises. De tels échanges existent déjà mais les structurer pourrait permettre de les développer.

Il pourrait être imaginé, au niveau des universités ou des régions, un « guichet unique » où les entreprises peuvent s'adresser si elles ont un besoin de formation continue. Cette structure pourrait également assurer la promotion des actions possibles de formation continue.

Toujours dans une logique de concertation, des formations conçues « à la demande » permettraient de répondre au mieux aux besoins des entreprises, en les appuyant sur des mathématiques fondamentales si nécessaire.

La réflexion sur la mise en œuvre associera les acteurs ayant acquis une expertise grâce aux actions citées page 84 (Société de mathématiques appliquées et industrielles, Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société, Centre international de rencontres mathématiques...)

## V.2.4. Formation initiale et continue et développement professionnel des enseignants en mathématiques

Les futurs enseignants commencent tous par aller à l'école, puis au collège puis au lycée. Ils s'engagent dans le supérieur où débute leur formation d'enseignant. Lorsqu'elle est suffisamment avancée, ils retournent à l'école ou au collège ou au lycée et la boucle se referme. Du bon fonctionnement de ce petit circuit au cœur de l'écosystème de la formation en mathématique, dépend celui des autres formations : il faut des étudiants à l'entrée et des formateurs pour le faire tourner. Or les constats montrent qu'il est grippé : de moins en moins d'étudiants s'engagent à l'entrée et le vivier des formateurs s'assèche ; on manque d'enseignants de mathématiques et le nombre d'heures enseignées en mathématiques au lycée a en conséquence fortement diminué depuis la récente réforme du baccalauréat<sup>70</sup>. Il est urgent de sortir de ce cercle vicieux. La formation des enseignants est un levier indispensable.

Le rapport VILLANI-TOROSSIAN<sup>71</sup> comportait des mesures et des recommandations concernant la formation continue des enseignants. Certaines ont été mises en place, notamment pour les professeurs des écoles, et mériteraient encore d'être soutenues, mais d'autres pistes sont à explorer.

Le grand nombre des acteurs impliqués et l'accumulation des réformes font de la formation des enseignants un système très complexe, dont nous avons essayé d'aborder un maximum de facettes. C'est pourquoi nous présentons plusieurs pistes de solutions. Mais comme nous l'expliquerons plus loin, il faut aussi assurer la cohérence par un point de vue global sur la mise en œuvre de toutes ces pistes.

### V.2.4.1. En licence et master

Commençons par la formation des futurs professeurs des écoles.

#### Proposition V.5

Dans les parcours préparatoires au professorat des écoles : introduire de la didactique dans les cours de mathématiques et ne pas se contenter de refaire aux étudiants de licence les cours qu'ils ont déjà suivis au collège.

Il s'agit là d'une proposition formulée par le réseau des Instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation.

70. « Les effets des choix des élèves en lycée général et technologique sur les services des enseignants ». Note d'Information de la Depp, n° 21.37, novembre 2021.

71. Charles TOROSSIAN & Cédric VILLANI. *Ibid.*

Les parcours préparatoires au professorat des écoles sont implantés dans trente académies et proposés au sein de quatorze mentions de licence. L'objectif est de préparer les étudiants au métier de professeur des écoles tout en leur permettant d'obtenir une licence. Un tel parcours s'ajoute à une licence déjà existante (dite licence support) : la moitié des cours est dispensée au lycée et porte sur les disciplines enseignées à l'école, et l'autre moitié est constituée d'unités d'enseignement de la licence support.

L'enseignement primaire est, par nature, pluridisciplinaire et les enseignements délivrés pendant l'ensemble du parcours doivent aborder chaque discipline avec une sensibilisation aux problèmes didactiques. On pourra s'appuyer sur l'exemple de la licence Sciences & Humanités d'Aix Marseille Université détaillée page 100. Ses unités d'enseignement sont par construction pluridisciplinaires, avec des enseignants de lettres, sciences humaine et sciences intervenant dans chaque unité.

Le développement de parcours pluridisciplinaires préparatoires au professorat des écoles doit être pensé comme distincts d'autres parcours et contenir une part de formation professionnelle. L'originalité d'un tel parcours demande un temps de construction qui doit être reconnu.

#### Proposition V.6

Revoir la nomenclature nationale des licences afin de permettre à des licences pluridisciplinaires, abordant à la fois des sciences et des humanités, de se développer plus facilement.

Cette proposition, plus technique, permet de lever un obstacle au développement de parcours pluridisciplinaires dans le supérieur. Elle est particulièrement adaptée à la formation des professeurs des écoles.

L'intitulé du diplôme national de licence est défini par un nom de domaine et de mention dans les conditions fixées par l'arrêté du 22 janvier 2014<sup>72</sup> et notamment dans l'annexe modifiée par arrêté du 23 mai 2019. On n'y trouve pas de place pour des licences pluridisciplinaires.

L'objet de la proposition est donc de permettre des enseignements véritablement pluridisciplinaires, comme c'est le cas par exemple dans la licence délivrée à Aix-Marseille Université<sup>73</sup> où la mention *Sciences et Humanités* est accordée à titre dérogatoire. Cette licence permet d'intégrer des masters d'enseignement, mais aussi de mathématiques, physique, philosophie, ethnologie ou sciences cognitives.

#### Proposition V.7

Avoir une réflexion nationale impliquant les acteurs de terrain sur la place de la formation des enseignants dans les licences de mathématiques.

Le programme des licences de mathématique n'est actuellement pas adapté aux étudiants qui souhaitent s'orienter vers un master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation pour devenir enseignants. Certains étudiants se retrouvent en échec, alors qu'un parcours plus pertinent leur permettrait de réaliser leur projet. Mais les effectifs des licences de mathématiques permettent rarement de mettre en place un parcours séparé, c'est pourquoi

72. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000028545004>.

73. <https://formations.univ-amu.fr/fr/licence/3SHU>.

il serait utile de repenser le contenu des licences pour s'assurer d'une bonne formation de tous les étudiants. Lors des entretiens, le groupe de travail a évoqué cette question avec les représentantes de la Conférence des doyens et directeurs des unités de formation et de recherche scientifiques des universités françaises, Laurence MOURET<sup>74</sup> et Chantal GAUTHIER<sup>75</sup>.

### Proposition V.8

En licence, mettre en place un système de pré-recrutement pérenne des futurs enseignants du secondaire.

A titre de rappel liminaire, l'article L911-2 du code de l'éducation prévoit : « Un plan de recrutement des personnels est publié, chaque année, par le ministre chargé de l'éducation. Il couvre une période de cinq ans et est révisable annuellement. » Si un tel plan était effectivement publié, on peut penser que l'annonce de postes sur plusieurs années serait de nature à attirer des candidats motivés.

Par ailleurs, les professeurs reçoivent chaque année des étudiants motivés par l'enseignement (cela est par exemple manifeste lors des entretiens de recrutement des Assistants d'éducation en préprofessionnalisation<sup>76</sup>). La mise en place pérenne et publicisée de pré-recrutements résoudra une bonne part du problème actuel, si elle est faite de façon réfléchie et suivie, avec les conditions suivantes :

- considérer ces pré-recrutements comme un système de formation, et non comme un moyen d'enseignement. Cela implique en particulier que le temps de travail demandé soit modéré (par exemple une demi-journée par semaine). Il ne viendrait à l'idée de personne de proposer huit heures de travail par semaine en établissement à un élève en classe préparatoire ou préparant le concours d'entrée en études médicales ;
- proposer un salaire permettant de vivre ; un revenu d'environ 800 € à 1 000 € par mois, compatible avec une bourse, semble un niveau raisonnable, ce qui reviendrait, avec les charges, à environ 15 000 € par an ;
- suivre de façon personnalisée les étudiants engagés dans ce système ;
- ouvrir chaque année un nombre important, et fixé à l'avance, de postes dans les diverses disciplines et dans le premier degré : c'est nécessaire pour rendre le système visible et efficace, et éviter les effets d'aubaine.

On peut donner un ordre de grandeur pour le coût d'un tel système : on recrute entre 25 000 et 30 000 enseignants par an en régime de croisière (3 % de 900 000 enseignants). Un pré-recrutement d'environ la moitié, soit 15 000 postes par an, pour 3 ans d'étude, soit 40 000 étudiants prérecrutés en régime de croisière (en comptant quelques démissions) est un ordre de grandeur raisonnable, le coût d'un tel système serait de 0,6 milliard d'euros par an, ce qui représente environ 4 % du coût du système d'apprentissage (15 milliards d'euros par an). Cela semble un prix raisonnable pour obtenir un approvisionnement régulier en enseignants bien formés, et un tel système, s'il est bien suivi, aurait des effets importants d'ascenseur social.

74. Directrice de l'Unité de formation et de recherche de sciences à Aix-Marseille Université, et présidente de la Conférence des doyens et directeurs des unités de formation et de recherche scientifiques des universités françaises.

75. Directrice de la Faculté des sciences et des techniques de l'Université de Nantes et vice-présidente de la Conférence des doyens et directeurs des unités de formation et de recherche scientifiques des universités françaises.

76. Les établissements d'enseignement scolaire peuvent recruter des étudiants pour assurer les fonctions d'assistants d'éducation. Ceux-ci bénéficient sur trois ans d'un parcours de professionnalisation et, progressivement, exercent des fonctions d'enseignement ou d'éducation. Si en première année, ils n'ont qu'une activité d'observation ou d'interventions ponctuelles sous la supervision d'un professeur, ils peuvent la troisième année remplacer des enseignants absents. <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo41/MENH1929194C.htm>.

**Proposition V.9**

Recruter plus d'enseignants-chercheurs, ayant en particulier vocation à former les futurs enseignants.

L'objectif de la proposition est d'améliorer l'encadrement des étudiants de licence et de master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation. Recruter davantage d'enseignants-chercheurs permettrait à tous, sans sacrifier les autres autres dimensions du métier (et en particulier la recherche), d'avoir une plus grande attention aux étudiants, et donc de garder en licence des étudiants qui deviendront peut-être enseignants. En outre, demander lors du recrutement, que les futurs enseignants-chercheurs soient prêts à s'investir un minimum pour la formation des enseignants permettrait d'améliorer l'encadrement dans les master métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation et les licences. Contrairement au concours du Capes, le concours de maîtres de conférences attire beaucoup de très bons candidats, mais le nombre de postes ouverts au concours ne permet pas de faire face au nombre croissant d'étudiants. De 2010 à 2021, le nombre d'étudiants inscrits à l'université en « sciences fondamentales et applications »<sup>77</sup> a augmenté de 34,7 %. Dans le même temps, les effectifs des enseignants-chercheurs<sup>78</sup> ont diminué de 12,7 % en mathématiques<sup>79</sup>, ont augmenté de 0,8 % en mathématiques appliquée et applications des mathématiques<sup>80</sup> et ont diminué de 5,2 % pour l'ensemble de ces deux thématiques<sup>81</sup>. Comme pour la réflexion sur les licences, une impulsion nationale est nécessaire.

La didactique du supérieur est en plein développement : on observe une croissance forte des recherches internationales dans ce domaine (voir par exemple les activités du réseau international *International Network for Didactic Research in University Mathematics*<sup>82</sup> créé en 2016) et est soutenue en France par le nouveau Réseau de recherche fondamentale en didactique et épistémologie des mathématiques, en lien avec l'informatique et la physique dans le supérieur<sup>83</sup> et la création de la nouvelle revue *EpiDEMES*<sup>84</sup> du Centre national de la recherche scientifique. Les université se préoccupent à présent de former leurs enseignants-chercheurs nouvellement recrutés, mais ces formations sont rarement liées à la discipline. Pourtant, il serait très utile de leur fournir quelques outils didactiques pour les aider à identifier ce qui pose problème aux étudiants et comment faire surmonter ces obstacles.

**V.2.4.2. Après le master****Proposition V.10**

Soutenir le système de formation par les constellations, notamment par l'intervention et la formation des référents mathématiques de circonscription.

77. *Repères et statistiques*, chapitre 6, partie 6.04. éditions 2020 et 2021. Publication annuelle éditée depuis 1984 par la DEPP et le SIES, les services statistiques ministériels chargés de l'éducation nationale et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

78. « Fiches démographiques des sections CNU - Année 2021 » et « Fiches démographiques des sections CNU - Année 2020 ». Sections 25 et 26.

79. Section 25 du Conseil national des universités.

80. Section 25 du Conseil national des universités.

81. La baisse des effectifs est manifeste depuis 2000. De 2000 à 2021, les effectifs d'enseignants-chercheurs ont diminué de 19,9 % en section 25, ont augmenté de 3,6 % en section 26 et ont diminué de 7,6 % les deux sections confondues.

82. Indrum, <https://hal.inria.fr/INDRUM>.

83. Demips, <https://demips.math.cnrs.fr/>.

84. <https://epidemmes.episciences.org/>.

La formation par constellation<sup>85</sup> est un type de formation mis en place en suite de la parution du plan VILLANI-TOROSSIEN. Une constellation est un groupe de six à huit professeurs des écoles. Celle-ci travaille, sur place, avec un référent mathématique de circonscription avec qui elle définit les thèmes à approfondir en accord avec des priorités définies nationalement. On lit dans le Vademecum la philosophie suivante de ces formations : « Il convient d'insister sur le caractère horizontal et participatif du rôle du référent mathématique de circonscription dans l'accompagnement et les formations qu'il sera amené à mettre en place. En particulier, grâce à une transparence et une bienveillance dans les échanges, il s'agira de permettre à chacun des professeurs des écoles d'un groupe de pouvoir formuler des besoins ou des souhaits de formation mais aussi des difficultés personnelles relatives à certaines notions mathématiques. »

Le groupe de travail recommande de poursuivre cette modalité de formation, sans la remplacer par une formation plus hiérarchique (plus verticale) sous le responsabilité de conseillers pédagogiques de circonscriptions. Il recommande aussi de permettre aux référents mathématiques de circonscription de se former à leur mission dans les meilleures conditions.

#### Proposition V.11

Soutenir le développement des *labomaths*.

Les *labomaths* ont été présentés page 93. Ils n'ont été mis en place que dans quelques établissements. Le groupe de travail recommande que leur mise en place soit étendue et accompagnée de moyens : des heures supplémentaires effectives pour les membres actifs et un budget de fonctionnement, notamment pour interagir avec les universités, par exemple en s'appuyant sur les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences.

#### Proposition V.12

Soutenir au niveau national le réseau des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences, et institutionnaliser les liens avec les Écoles académiques de formation continue et les *labomaths*.

Les 28 Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences sont des structures universitaires présentes dans presque chaque académie depuis plus de cinquante ans. Structurés à l'échelle nationale, ils coordonnent leurs actions au sein d'un groupement d'intérêt scientifique (l'Assemblée des directeurs d' Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques) et sont conventionnés avec la Direction générale de l'enseignement scolaire et la Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle. Ils mènent en concertation avec d'autres acteurs (rectorats, associations Math en Jeans et Animath, Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public), des actions relatives à l'enseignement des mathématiques et des sciences, et à leur diffusion en milieu scolaire (rallyes mathématiques,

85. « Vademecum. Référents Mathématiques de Circonscription & Formation ». Version 1.0 rédigée par Aurélien ALVAREZ, Sandrine CHABAULT, Jean-François CHESNÉ, Anne CORTELLA, Hubert COURTEILLE, Patrice LEMOINE, Géraldine MASTROT, Nathalie PASQUET, François RECHER, Pierre SAUREL, éric SERRA, Miguel TOQUET et Evelyne TOUCHARD, sous la direction de Charles TOROSSIAN. <https://eduscol.education.fr/document/1481/download?attachment>.

stages hippocampe, stages MathC2+, expositions, conférences...), parfois aussi auprès du grand public. Ils sont des interlocuteurs reconnus des rectorats et de nombreux enseignants de mathématiques, mais ils manquent parfois de visibilité, en particulier auprès du grand public.

Les Écoles académiques de formation continue élaborent chaque année un programme académique de formation<sup>86</sup>, sur la base d'un appel d'offre auprès des acteurs de l'académie susceptibles de proposer des actions de formation continue aux enseignants. Les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences font partie de ces acteurs : les groupes qui y travaillent mènent une réflexion de longue haleine, éclairée par les apports de la recherche. Cette réflexion permet de produire des ressources fiables et de proposer des formations de qualité. Dans la mesure où l'Assemblée des directeurs d'Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques est une structure conventionnée avec la Direction générale de l'enseignement scolaire du Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse et avec la Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences devraient être reconnus comme des partenaires institutionnels, pour la conception et à la mise en œuvre de la partie mathématique du plan académique de formation. Or, ils peinent à trouver cette place et sont souvent considérés comme des prestataires de service susceptible d'organiser une formation à la demande en un temps restreint.

L'institutionnalisation des liens entre les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences, et les Écoles académiques de formation continue et les *labomaths* permettraient d'appuyer la formation continue sur la recherche comme cela a été mentionné page 93.

Les actions de la communauté mathématique de diffusion envers les scolaires et le grand public sont variées, et les sollicitations auprès des collègues très nombreuses. Pour ne pas disperser les moyens alloués ni surcharger les collègues concernés d'une part et pour permettre une meilleure cohérence et lisibilité pour le public visé d'autre part, il faudra donc articuler soigneusement les actions des Maisons régionales des mathématiques décrites par la proposition VI.1 page 112 avec celles déjà existantes, en particulier des Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques et Instituts de recherche sur l'enseignement des sciences. Une articulation bien pensée permettra à ces derniers de bénéficier de l'aspect « vitrine unique » que pourront offrir les Maisons régionales des mathématiques.

---

86. Parcours de formation continue mis en place au sein de chaque académie au profit des personnels de l'éducation nationale.





# Partie VI

**Financement et organisation  
de la recherche en mathéma-  
tiques**



Le groupe de travail a été dirigé par :

- Christophe DELAUNAY, professeur à l'Université de Franche-Comté;
- Frank PACARD, professeur à l'École polytechnique.

Ils étaient accompagnés par :

- Isabelle CHALENDAR, professeure à l'Université Gustave Eiffel.

## VI.1. Diagnostic

### VI.1.1. Augmenter l'impact des mathématiques

#### Résumé

Les mathématiciennes et mathématiciens sont peu présents dans le monde socio-économique et échangent peu avec les autres disciplines. Pour des raisons distinctes, il semble que ce soit moins le cas en Grande Bretagne ou en Allemagne.

L'impact de la communauté mathématique française<sup>1</sup> en dehors de la discipline ne correspond pas à la hauteur des enjeux de la société, ni des attentes de l'enseignement supérieur et de la recherche.

En ce qui concerne le monde socio-économique, le document « Étude de l'impact économique des Mathématiques en France »<sup>2</sup> établit que les mathématiques contribuent directement ou indirectement à 18 % du produit intérieur brut national et à 13 % des emplois salariés. Si ces données montrent bien l'importance des mathématiques pour le développement économique et les enjeux de société, la communauté mathématique ne semble être directement concernée que dans une proportion beaucoup plus faible. Ainsi, l'étude mentionnée ci-dessus indique<sup>3</sup> que seulement 6 % de l'ensemble des thèses Cifre<sup>4</sup> sont dans le domaine des mathématiques. D'autre part, le programme « Projet de recherche collaborative-entreprise » de l'Agence nationale de la recherche<sup>5</sup> ne semble pas séduire la communauté mathématique avec très peu de demandes et aucun projet retenu pour un financement par le comité d'évaluation scientifique<sup>6</sup> dédié aux mathématiques en 2020, 2021 et 2022. Jean-Marc GAMBAUDO<sup>7</sup>, affirme d'ailleurs : « Il y a une large demande pour des mathématiciens mais les mathématiciens ne la satisfont pas. » Cette faible présence des mathématiciennes et des mathématiciens dans des collaborations avec le monde socio-économique ne peut se justifier par un manque de forces vives dans le domaine. En effet, l'Agence pour les mathématiques en interaction avec les

1. On appelle « communauté mathématique » l'ensemble des mathématiciennes et mathématiciens relevant de l'enseignement supérieur et de la recherche, sans d'ailleurs trop chercher à définir ce qu'est un mathématicien ou une mathématicienne.

2. Étude publiée par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions disponible en suivant le lien <https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-mathematiques-un-impact-majeur>.

3. En se basant sur le rapport : Arthur GUILLOUZOUIC & Clément MALGOUYRES. « Évaluation des effets du dispositif CIFRE sur les entreprises et les doctorants participants », rapport IPP n° 28, octobre 2020.

4. Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre) 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.

5. L'Agence nationale de la recherche est la principale agence française de financement de la recherche par projet.

6. La sélection des projets déposés dans le cadre des appels à projets de l'Agence nationale de la recherche repose sur une évaluation par les pairs mobilisant notamment des comités d'évaluation scientifiques constitués de scientifiques. Pour les appels 2022, il y a 56 tels comités, celui dédié aux mathématiques étant le CES40. Leur liste est disponible dans le document « Appel à projets générique 2022. Guide de l'AAPG 2022. Modalités de dépôt, d'évaluation, de sélection et de financement » publié le 13/09/2021. <https://anr.fr/fileadmin/aap/2022/aapg-2022-Guide-V1-0.pdf>.

7. Ancien Président de l'Université Côte d'Azur.

entreprises et la société<sup>8</sup> estime à autour de 600 (sur environ 4000 – soit de l'ordre de 15 %) le nombre des chercheurs et chercheuses, enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs titulaires pouvant participer à des coopérations avec des entreprises. Le parallèle entre ces 600 chercheurs et enseignants-chercheurs et le financement de seulement 100 programmes appelés « Projet exploratoire, premier soutien »<sup>9</sup> depuis 2011 par l'Agence pour les mathématiques en interaction avec les entreprises et la société est assez révélateur.

En dehors du monde socio-économique, la présence de la recherche en mathématiques aux interactions est plus difficilement quantifiable mais les différents témoignages convergent vers le fait qu'elle reste en deçà des attentes. Jean-Marc GAMBAUDO affirme ainsi : « Les mathématiciens ont peur de perdre leur culture au contact des autres. (...) Les mathématiques doivent s'ouvrir aux autres et même en dehors des laboratoires. » Il est également noté une faible implication des mathématiques dans les projets (demandés ou acceptés) de l'Agence nationale de la recherche dans les autres comité d'évaluation scientifique que celui spécifiquement dédié aux mathématiques.

Enfin, la communauté aurait certainement intérêt à être davantage proactive dans les actions de diffusion auprès du grand public et à contribuer à « désanctuariser » la discipline. La désaffection des mathématiques au lycée lorsqu'elles sont devenues optionnelles dévoile probablement un manque d'interventions et d'informations des chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques dans le secondaire (même si cela n'est certainement pas la cause unique). Ces interventions devraient également se faire régulièrement chez les plus jeunes élèves (dès le primaire) pour une meilleure sensibilisation et comme un des leviers pour améliorer (sur le long terme) la représentation des femmes dans la communauté.

Le groupe a essentiellement comparé la situation française avec ses deux plus proches compétiteurs européens : le Royaume-Uni et l'Allemagne. Le système d'évaluation des départements d'enseignement et de recherche et des universités du Royaume-Uni pousse implicitement à l'ouverture des mathématiques, puisque celui-ci est basé sur une règle des « trois tiers » : un tiers pour l'activité académique, un tiers pour l'impact (en dehors de mathématiques), un tiers pour les formations. En Allemagne, la situation est intrinsèquement différente puisque le taux de chômage des doctorants est très inférieur à 2 % avec des débouchés nombreux dans le secteur privé. En particulier, la présence de docteurs en mathématiques dans les entreprises leur garantit un accès à la recherche de pointe en mathématiques.

### VI.1.2. Dynamiser la communauté et mieux cibler les moyens

Les mathématiques ont plus de mal que d'autres disciplines à trouver leur place au sein des universités de plus en plus autonomes, où elles ont maintenant besoin d'expliquer ce qu'elles font et de justifier leurs spécificités. Les mathématiciennes et mathématiciens semblent éprouver des difficultés à expliquer aux instances le fonctionnement d'une recherche essentiellement ancrée dans le long terme.

Il est constaté qu'une partie de la communauté mathématique est mal à l'aise face aux nouvelles mesures des réformes et propositions : les Chaires de professeur junior et le système de « repyramidage » paraît difficilement conciliable avec la politique d'essaimage national mise en place avec succès en mathématiques.

8. Unité d'appui et de recherche du Centre national de la recherche scientifique et de l'Université Grenoble Alpes.

9. Le dispositif Projet exploratoire, premier soutien de l'Agence pour les mathématiques en interaction avec les entreprises et la société permet aux entreprises de bénéficier de compétences mathématiques de haut niveau dont l'apport est souvent clé pour le développement de nouveaux produits et dans les innovations. Il peut apporter un complément de financement aux projets des entreprises qui ont un besoin mathématiques.

Le système des appels à projets « sous pression » ne semble pas convenir à une grande partie de la communauté mathématique, qui est moins active que les autres disciplines dans ses réponses aux appels à projets et qui a du mal à offrir des « financements intermédiaires » pour pousser les jeunes talents. Par exemple, le comité d'évaluation scientifique pour les mathématiques (le CES40) enregistre le plus haut taux de succès (environ 30 % des projets déposés) de l'ensemble des comités d'évaluation scientifique de l'Agence nationale de la recherche (pour lesquels le taux de succès est en moyenne de 23 %) alors même que le nombre de projets déposés en mathématiques est en baisse :

- 18 projets de type « jeunes chercheurs et jeunes chercheuses » ont été déposés en 2022 (contre 24 en 2021 et 31 en 2020) ;
- 32 de type « projets de recherche collaborative » ont été déposés en 2022 (contre 35 en 2021, et 41 en 2020).

On ne constate pas une telle baisse des projets déposés par les autres disciplines :

- le nombre de dépôts en réponse à l'appel à projets générique<sup>10</sup> pour le seul département « Sciences du numérique / mathématiques »<sup>11</sup> (Numa) est d'environ 880 en 2021, avec une hausse d'environ 4 % par rapport à 2020 ;
- sur le périmètre de toute l'Agence nationale de la recherche la hausse du nombre de dépôts en réponse à cet appel est d'environ 5,25 %.

Le programme « Appel à projets générique » fonctionne « à la pression ». Autrement dit, la somme allouée à un comité d'évaluation scientifique pour financer des projets dépend du nombre de projets déposés auprès de ce comité et de la somme totale des demandes de ces projets. Il s'ensuit que le financement des mathématiques représente moins de 0,6 % du budget total de l'appel à projets générique. Yamine AÏT-AMEUR<sup>12</sup>, exprime que [l'Agence nationale de la recherche] « regrette la baisse du nombre de dossiers déposés dans l'axe “mathématiques” du programme “Appel à projets générique” ».

Cette tendance se confirme avec les appels à projets de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions<sup>13</sup> et le faible nombre de demandes de délégation<sup>14</sup> et de « projets exploratoires, premier soutien »<sup>15</sup>.

La communauté montre également un manque d'appétence pour les appels à projets internationaux :

- 13 « projets de recherche collaborative - international »<sup>16</sup> ont été déposés en 2021 (20 en 2020) en mathématiques ;
- contre 179 en 2021 (80 en 2020) pour le département « Sciences du numérique / mathématiques ».

10. Ce sont les projets des programmes « projets jeunes chercheurs et jeunes chercheuses », « projets de recherche collaborative » et « projets de recherche collaborative-entreprise » évoqués plus haut qui sont comptés ici et les « projets de recherche collaborative - international » non comptés ici (environ 180 projets).

11. Ce département représente 11 comités d'évaluation scientifique.

12. Responsable du département Numa.

13. La direction scientifique du Centre national de la recherche scientifique comprend dix instituts qui pilotent la stratégie de recherche de l'établissement et coordonnent les activités et les projets des laboratoires qui leurs sont rattachés. L'institut qui couvre le champ disciplinaire des mathématiques est l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions. Il a été investi, par un arrêté du 28 juin 2010, des missions nationales d'animation et de coordination dans le domaine des mathématiques.

14. Les délégations sont des décharges d'enseignement annuelles financées par le Centre national de la recherche scientifique pour un certain nombre d'enseignants-chercheurs.

15. Comme Agence pour les mathématiques en interaction avec les entreprises et la société, l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions porte un certain nombre d'appels à projets de type Projet exploratoire, premier soutien, par exemple à destination des jeunes chercheurs et des jeunes chercheuses.

16. Les « Projets de recherche collaborative - international » de l'Agence nationale de la recherche offrent des financements à des projets dans le cadre d'une collaboration internationale bilatérale.

Si en termes de succès, la France se place en 2<sup>e</sup> position du nombre de projets financés par le Conseil européen de la recherche (ERC)<sup>17</sup> derrière le Royaume-Uni et juste devant l'Allemagne et Israël, ce rang doit être pondéré par l'importance de la taille de la communauté mathématique. D'autre part, les lauréats français des succès en mathématiques en réponse aux appels à projets du Conseil européen de la recherche sont très centralisés sur Paris et sur la population des chercheurs et chercheuses du Centre national de la recherche scientifique, accentuant ainsi des déséquilibres entre les grandes métropoles et les villes de taille moyenne alors même que la communauté souhaite préserver l'homogénéité de sa présence sur l'ensemble du territoire. « En France, dès qu'on soulève une pierre, on trouve un bon mathématicien » affirme Jean-Marc GAMBAUDO, avant de compléter : « On trouve des bons mathématiciens partout. »

Au-delà des difficultés qu'ont les mathématiques françaises à trouver leur place dans le nouveau paysage de l'enseignement supérieur et de la recherche, elles peinent à rester attractives et à trouver des moyens suffisants pour permettre aux collègues les plus dynamiques de développer leurs recherches. John BALL<sup>18</sup> donne l'exemple d'« un chercheur français réputé, diplômé de l'École polytechnique, [qui] a décidé de rejoindre l'Université de Cambridge en qualité de Professeur, choisissant le Royaume-Uni plutôt que la France à cause des opportunités qui lui étaient offertes ». Jean-Pierre BOURGUIGNON constate sur les mobilités : « Les départs des talents hors de France sont plus nombreux que les arrivées. »

Pour mesurer les départs, on peut s'intéresser au lieu de formation (thèse) et au lieu d'exercice actuel de mathématiciennes et mathématiciens ayant obtenu au moins un financement du conseil européen de la recherche<sup>19</sup> dans quelques pays européens depuis 2008. Les résultats sont reportés dans le tableau VI.1.1 page ci-contre. Au regard de ce tableau, Royaume-Uni et Suisse paraissent plus attractifs que la France. On note aussi que, parmi les personnes ayant eu un tel financement dans une institution en Grande-Bretagne<sup>20</sup> :

- aucune n'exerce actuellement en France ;
- 8,5 % ont obtenu leur thèse dans une institution française ;
- 7,3 % ont eu un poste permanent en France (université ou Centre national de la recherche scientifique) avant de partir au Royaume-Uni.

De même, parmi les personnes ayant eu un tel financement dans un institution Suisse

- une seule a quitté la Suisse ;
- 12,5 % ont soutenu une thèse en France ;
- 9,4 % ont eu un poste permanent en France.

Le *Engineering and Physical Sciences Research Council* (EPSRC) est un organisme finançant la recherche au Royaume-Uni. Celui-ci ne finance que le fonctionnement et les contrats post-doctoraux. Il existe deux autres organismes pour les financements de thèse : *Doctoral Training Grants* et *Central Doctoral Training* (CDT), en plus des financements type bourses universitaires. Le site de l'*Engineering and Physical Sciences Research Council*<sup>21</sup> rapporte tous les projets de recherche en cours de financement et par sous-thématiques scientifiques. En enlevant les doublons et en considérant tous les projets qui ont débuté en 2021 dans un ensemble

17. Le *European Research Council* est l'organisme européen est l'agence européenne de financement de la recherche par projet.

18. Président de l'Union mathématique internationale de 2003 à 2006, professeur au *Queen's College* d'Oxford, Grande-Bretagne.

19. On mesure là les financements au moins partiellement installées dans un pays. Un lauréat qui quitte un pays membre de l'ERC pour un autre apparaît en cours de projet peut donc apparaître dans les deux pays.

20. On compte ainsi les financements ERC qui ont au moins partiellement été installé dans une institution de Royaume. On néglige donc les effets du *brexit* qui ont conduit des lauréats ERC en poste au Royaume-Uni dont le financement n'a pas pu être installé au Royaume-Uni et qui seraient parti à cette occasion.

21. <https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOListThemes.aspx>.

Tableau VI.1.1– Formation et exercices actuel des lauréats ERC.

Pays d'obtention	Thèse hors pays d'obtention	Exercice actuel hors pays d'obtention	Exercice actuel hors pays d'obtention et hors pays de thèse
Royaume-Uni	42,7 %	17,1 %	3,7 %
France	22,6 %	11,8 %	1,1 %
Suisse	71,9 %	3,1 %	0

Source : <https://erc.europa.eu/project-statistics/project-database>

de sous-thèmes<sup>22</sup> le groupe de travail a compté 151 projets financés pour un montant de 56,1 M€. La durée moyenne des projets est de 2,5 ans. On peut donc vraisemblablement retenir un financement d'environ 60 M€ en mathématiques (hors thèses sur projet). Le budget de l'*Engineering and Physical Sciences Research Council* en 2021/2022 est d'environ 1 100 M€. La part des maths est donc de l'ordre de 5 % (sans compter les contrats doctoraux) que l'on peut comparer avec les moins de 1 % et les 5 M€ pour les maths via l'Agence nationale de la recherche (en comptant que les projets Agence nationale de la recherche financent des bourses doctorales).

L'analogue allemand de l'Agence nationale de la recherche est la *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (DFG). Son rapport annuel 2021<sup>23</sup> permet de connaître les autorisations annuelles budgétaires pour les projets en cours de 2018 à 2020. On lit que ces autorisations varient de 3,4 Md€ en 2018 à 3,6 Md€ en 2021 dont, pour les mathématiques 89,8 M€ (2,6 % du total) en 2018 et 103,5 M€ en 2021 (2,8 % du total).

Créé en 2008 et financé par le Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche allemand, le programme de « chaires Humboldt »<sup>24</sup> permet à l'Allemagne d'attirer des professeurs « de renommée mondiale, travaillant à l'étranger et scientifiquement établis ». De 2009 à 2023, ce sont ainsi 101 scientifiques qui ont été recrutés<sup>25</sup>. Parmi eux, dix sont mathématiciens (dont trois ont eu au cours de leur carrière un statut de fonctionnaire en France). Chaque recrutement est financé à hauteur de 3,5 M€ (et 5 M€ pour les sciences expérimentales) sur une période de cinq ans couvrant à la fois la rémunération personnelle et des moyens de recherche. Ce programme permet en particulier de faire revenir en Allemagne des scientifiques y ayant fait une partie de leurs études.

22. Algebra, Geometry and Topology, Mathematical Analysis, Mathematical Biology, Mathematical Physics, Non-Linear Systems, Numerical Analysis, Number Theory, Statistics and Applied probability.

23. *Deutsche Forschungsgemeinschaft. Jahresbericht 2021. Aufgaben und Ergebnisse*. Notamment le graphique 7 page 221.

24. *Humboldt-Professur*. <https://www.humboldt-foundation.de/bewerben/foerderprogramme/alexander-von-humboldt-professur>.

25. Auxquels s'ajoutent 16 recrutements par un programme spécifique à l'intelligence artificielle.

## VI.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### VI.2.1. Interactions

#### Proposition VI.1

Créer des « Maisons régionales des mathématiques » visant à promouvoir les interactions des mathématiques avec l'écosystème régional.

Les « Maisons régionales des mathématiques » auront à une échelle régionale<sup>26</sup> l'ambition :

- d'offrir plus de visibilité aux mathématiques ;
- de coordonner les actions des mathématiciennes et mathématiciens à une échelle intermédiaire entre le laboratoire et l'échelle nationale ;
- d'intensifier l'impact des mathématiques en dehors de la discipline (dans le monde socio-économique, les collectivités locales, l'enseignement primaire et secondaire, le monde associatif, auprès du grand public, etc.)
- de répondre à une politique de site en collaboration avec les autres disciplines.

Un des objectifs est de mettre en place un réseau fort entre la communauté mathématique et les acteurs principaux du monde socio-économique. Un autre objectif important est d'augmenter les interactions et la présence des mathématiciennes et des mathématiciens dans les projets de recherche liés aux défis sociétaux tout en préservant une recherche académique de haut niveau.

Dans cette perspective, de telles maisons des mathématiques donneront de la visibilité sur les actions menées à l'échelle locale, tant en faveur des entreprises, des jeunes que du grand public. Ce dispositif permettra de déployer une recherche en mathématiques sur tous ces aspects, des plus fondamentaux jusqu'aux applications. Ce réseau permettra par ailleurs de proposer un lieu d'échange et de rencontre entre la communauté mathématique et les territoires ainsi que d'initier des collaborations et de doubler, à terme, le nombre des thèses Cifre en mathématiques au niveau local.

Enfin, ces Maisons coordonneront les différentes structures proposant des actions vers le grand public et le milieu scolaire pour améliorer l'attractivité générale des mathématiques.

Les « Maisons régionales des mathématiques » ont ainsi vocation à être les relais de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions, des Maisons de la simulation et de l'optimisation dans un environnement riche en données (MSO-DE) et de l'Agence mathématique en interaction avec l'entreprise et la société. L'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions fournit directement les moyens financiers, humains et logistiques aux Maisons régionales. Celles-ci affectent aux laboratoires de leur périmètre les moyens nécessaires à leur fonctionnement dans l'optique des ambitions générales et de la politique scientifique de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions déclinée au niveau régional.

Les acteurs de l'organisation locale de l'enseignement supérieur et de la recherche peuvent solliciter la Maison régionale dans le cadre de la politique scientifique de site. La Maison régionale propose de mobiliser les forces pertinentes et soutient l'implication des laboratoires de mathématiques pour répondre à cette politique scientifique.

26. Le terme « régional » n'est pas ici à prendre au sens des régions administratives mais doit être réfléchi en fonction des spécificités locales.



La Maison régionale crée une mission pour la mise en place d'un réseau fort avec le monde socio-économique et les structures locales qui en ont la charge. Elle est un interlocuteur de proximité de l'Agence mathématique en interaction avec l'entreprise et la société pour ses appels à projets et pour organiser régulièrement des déclinaisons de « Semaines d'étude maths-entreprises »<sup>27</sup> avec principalement des sociétés régionales.

En fonction du paysage local et de ses moyens, les Maisons régionales mettent en place des services mutualisés au bénéfice des laboratoires. Elles veillent, avec les laboratoires et les Instituts de recherche en enseignement des mathématiques (voir page 103) locaux, à ce que les actions de diffusion de mathématiques soient suffisantes et irriguent l'ensemble du territoire.

Le groupe de travail identifie les contributions suivantes :

- l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions :
  - met en place et coordonne les Maisons régionales de mathématiques,
  - définit les objectifs et l'organisation de chaque Maison régionale,
  - pilote et attribue les moyens;
- le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche :
  - promeut les Maisons régionales auprès des acteurs principaux de l'enseignement supérieur et de la recherche (universités et regroupement d'universités, écoles d'ingénieurs, rectorats...),
  - attribue des moyens complémentaires à ceux du Centre national de la recherche scientifique,
  - s'assure qu'une partie de ces moyens supplémentaires bénéficiera à une recherche interdisciplinaire impliquant les mathématiques;
- le ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique :
  - promeut les Maisons locales des mathématiques auprès des principaux acteurs du monde socio-économique en région,
  - attribuer des moyens pour la création de collaborations.

La question des locaux de ces maisons devra être réfléchi au cas par cas pour une efficacité maximale. Le rôle des régions devra être défini en fonction des contextes locaux mais elles pourront soutenir les relations avec le monde socio-économique.

#### Proposition VI.2

Mettre en place (à toutes les échelles) un système d'évaluation basé sur une règle des « trois tiers » : recherche dans la discipline, impact en dehors de la discipline, formation.

L'ambition de ce système d'évaluation est de reconnaître l'importance des activités qui assurent une présence des mathématiques sur l'ensemble du territoire national. Ce système d'évaluation soutient et favorise les structures et les collègues qui s'investissent dans les applications, les interactions et les collaborations. Il incite également à la diffusion de la culture scientifique et à l'implication dans les formations (à tous les niveaux).

Il s'agit de rendre plus attractives pour les chercheurs et enseignants-chercheurs qui veulent s'y investir, les collaborations, les actions de diffusion et la promotion des mathématiques. La mise en place d'un système d'évaluation moins basé sur l'élitisme académique pourrait également constituer un levier pour la parité dans la communauté.

27. Lors de ces semaines, il est proposé à des doctorants en mathématiques d'apporter des réponses à des défis apportés par des entreprises. Il s'agit souvent d'un premier contact des doctorants avec des problématiques industrielles

Nous proposons que soit constitué un groupe de travail issu des sections de mathématiques et de mathématiques appliquées et applications des mathématiques du Conseil national des universités (sections 25 et 26), de la section mathématiques du Conseil national de la recherche scientifique (section 41) et du Conseil scientifique de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (toutes instances constituées pour partie d'élus) qui présenterait les résultats de leur travail en assemblée générale de ces quatre instances et rédigerait un texte de recommandations largement diffusé (sociétés savantes, Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions...).

## VI.2.2. Attractivité

### Proposition VI.3

Cibler des moyens importants pour créer un effet de levier en ouvrant un programme de chaires de très haut niveau international, en intensifiant l'ouverture de chaires professeurs junior, en offrant des moyens supplémentaires aux jeunes recrutés les plus dynamiques, en mettant en œuvre un programme de délégations longues assorties de moyens de recherche ambitieux.

L'ambition est de créer un effet de levier pour l'ensemble de la communauté afin de la rendre plus dynamique et ambitieuse dans ses demandes et d'offrir une meilleure attractivité, en particulier au niveau international. Une aspiration complémentaire de la piste, par rapport à l'attractivité, est la mise en place d'une action forte permettant d'augmenter le nombre de femmes « rang A »<sup>28</sup> dans la communauté.

L'objectif est de créer plusieurs équipes énergiques centrées autour d'une personnalité (jeunes talents, personnalités confirmées) et il s'agit également de se donner les moyens d'attirer des chercheuses ou des chercheurs de très haut niveau en France.

Jean-Pierre BOURGUIGNON a suggéré lors de entretien : « Pour conserver les talents, il faut avant tout donner un horizon aux chercheurs à 5 ou 6 ans et pas seulement à 1 ou 2 ans, ce qui change tout en termes de confiance en l'avenir. » Le groupe de travail propose donc un programme de ciblage de moyens permettant de donner cette confiance aux collègues les plus dynamiques et d'améliorer l'attractivité du métier dans la discipline. Le ciblage devrait être fait par une instance nationale ce qui permettra d'améliorer la parité. Cette piste apporte dès lors une nouvelle dynamique et crée des réseaux internationaux forts. Elle permet d'installer une meilleure culture des appels à projets (Agence nationale de la recherche, Conseil européen de la recherche).

Les propositions ci-dessous nécessitent des décharges d'enseignement. Nous évoquons des pistes pour les compenser. Dans ces pistes, nous appelons *teaching assistant* des contrats à durée déterminée comportant une obligation d'enseignement. Ce peut-être des postes d'attachés temporaires d'enseignement et de recherche, des post-doctorats avec charge d'enseignement, des détachements d'agrégés du secondaires... L'existence de tel postes pourrait permettre d'allonger les durées de thèse qui sont actuellement trop courtes puisqu'en pratique, un doctorat en mathématiques est la plupart du temps soutenu dans le courant de la 4<sup>e</sup> année de thèse.

La piste propose de cibler des moyens importants, à travers plusieurs programmes, pour atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus :

28. Professeures d'université et directrices de recherche.

- mettre en place le recrutement de 2 ou 3 chercheurs de tout premier plan international par an avec des moyens substantiels supplémentaires sur 5 ou 6 ans (de 2 à 4 M€) permettant de constituer une équipe de haut niveau (doctorants, post-doctorants, etc.). Les personnalités recrutées accompagneront leur laboratoire d'affectation (ou les Maisons régionales de mathématiques) dans le développement d'une recherche ambitieuse en leur donnant plus de visibilité internationale mais également au niveau local ;
- intensifier le programme des chaires de professeurs junior en réservant la moitié de ces chaires à des femmes. Une instance nationale met en place le concours de recrutement et les affectations aux universités qui sont proposées pour le support.
- mettre en place un programme de l'Agence nationale de la recherche spécifique pour donner sur une période de 5 ans des moyens importants aux jeunes (en poste depuis moins de 3 ans) les plus dynamiques afin qu'elles ou ils puissent développer une recherche autonome intensive : décharges d'enseignement, budget de fonctionnement, bourses de doctorat, post-doctorat, etc. ;
- mettre en place un programme de délégations longues (sur 5 ans) en donnant des moyens pour réellement compenser l'enseignement *Teaching Assistants*. L'Agence nationale de la recherche peut compléter ces délégations longues par des moyens supplémentaires (fonctionnement, doctorat, post-doctorat).





# Partie VII

**Mathématiques en prise avec  
le monde réel**



Le groupe de travail a été dirigé par :

- Philippe BIANE, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique;
- Didier BRESCH, directeur de recherche Centre national de la recherche scientifique.

Ils étaient accompagnés par :

- Julien BARRÉ, professeur à l'Université d'Orléans;
- Florent HIVERT, professeur à l'Université Paris-Saclay;
- Évelyne MIOT, directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

## VII.1. Diagnostic

### VII.1.1. Inadéquation des moyens et besoins en personnel d'appui pour le calcul et les statistiques

#### Résumé

Les personnels d'appui à la recherche en calcul scientifique et statistiques, même s'il est étonnement difficile de les compter précisément, ne sont pas assez nombreux pour soutenir les équipes de recherche dans le développement de codes informatiques efficaces.

Les personnels d'appui à la recherche relevant des familles de métiers des statistiques et du calcul scientifiques sont 30 à 50 fois moins nombreux que les enseignants-chercheurs et chercheurs dans les laboratoires. Le travail de logiciel effectué par les doctorants et post-doctorants est par exemple perdu par manque de suivi. Frédéric COUDERC<sup>1</sup> indique par exemple : « Il apparaît aujourd'hui de plus en plus impérieux de faire des allers-retours entre théorie mathématique et mathématique du calcul haute performance. (...) Nous prenons un retard conséquent vis à vis de ce qui se pratique à l'étranger, moins réticent à mettre les moyens pour réaliser la chaîne complète allant de la théorie à la pratique, ou pousser les collaborations avec les autres disciplines autour du développement logiciel. » Amandine VÉBER<sup>2</sup> renchérit : « Modcov19<sup>3</sup> a permis de suivre des projets et d'essayer de mettre les compétences en relation. Les échanges avec plusieurs équipes ayant des projets liés à la crise sanitaire ont fait ressortir le besoin de pouvoir impliquer des personnels d'appui pour soutenir les équipes de recherche dans le développement de codes et d'outils efficaces. »

Des bases de données existent contenant les personnels de chaque unités. Il est étonnant de constater que la mauvaise qualité des données de ces bases empêche d'avoir une connaissance précise du nombre et de la localisation de personnels d'appui dédié au calcul et aux statistiques tous employeurs confondus.

1. Ingénieur de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

2. Directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

3. La plateforme Modcov19 a été mise en place en mars 2020 par l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions<sup>4</sup> du CNRS pour coordonner les actions de modélisation en France autour des multiples facettes de la pandémie de Covid19.

### VII.1.2. Nécessité d'une formation aux assistants de preuve

#### Résumé

Il est nécessaire de développer dans les formations en mathématiques une véritable ingénierie des assistants de preuves mais il n'existe pas ou très peu de formation spécifique dans l'enseignement à l'université.

Les assistants de preuve ont connu un développement spectaculaire ces dernières années avec notamment la vérification formelle de preuves mathématiques longues et difficiles mais leur utilisation dans l'enseignement reste marginales. Ces logiciels ont un grand potentiel pédagogique mais contrairement aux outils de calcul formel leur développement est encore loin d'être achevés. On peut par exemple citer le projet porté par Kevin BUZZARD à *Imperial College*<sup>5</sup>. Le fait d'utiliser des assistants de preuve permet aux étudiants n'ayant pas de bonne notion de ce qu'est une preuve de mieux comprendre ce dont il s'agit. En France des expériences sont menées utilisant différents logiciels à l'Université Sorbonne Paris Nord, à l'Université Paris-Scaly, à Sorbonne Université, à l'Université de Strasbourg et à l'Université de Montpellier. Toutes ces expériences ont eu lieu en première année de licence et les enseignants-chercheurs impliqués font part de retours globalement positifs des étudiants à l'utilisation de l'assistant permettant de mieux comprendre la notion de preuve<sup>6</sup>.

### VII.1.3. Durée des thèses

#### Résumé

La durée des bourses de thèse (trois ans) apparaît trop courte par rapport à la compétition internationale notamment pour permettre un travail de formation soit avec d'autres disciplines, soit dans le cadre d'entreprises.

Les entretiens menés par le groupe de travail on mis en avant que, notamment dans le domaine des mathématiques tournées vers les applications, la durée des thèses rend difficile l'inclusion d'un stage long en entreprise et ne permet pas un temps d'assimilation d'autres disciplines avant de se lancer dans le travail en interaction sur des enjeux du monde réel.

En France la durée de la formation doctorale est de trois ans à temps plein<sup>7</sup>. Parmi les thèses soutenues en mathématiques entre 2018, environ la moitié avaient été préparées en moins de 40 mois et un peu plus d'un tiers entre 40 et 52 mois d'après un rapport<sup>8</sup> de l'Inspection générale de l'éducation du sport et de la recherche. Ces ordres de grandeurs sont confirmés sur la période 2013-2021 par des données produites par la Sous-direction des systèmes d'information et des études statistiques du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et fournie à l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (voir le figure VII.1.1 page suivante).

5. Voir <https://xenaproject.wordpress.com/> et <https://www.imperial.ac.uk/people/k.buzzard>.

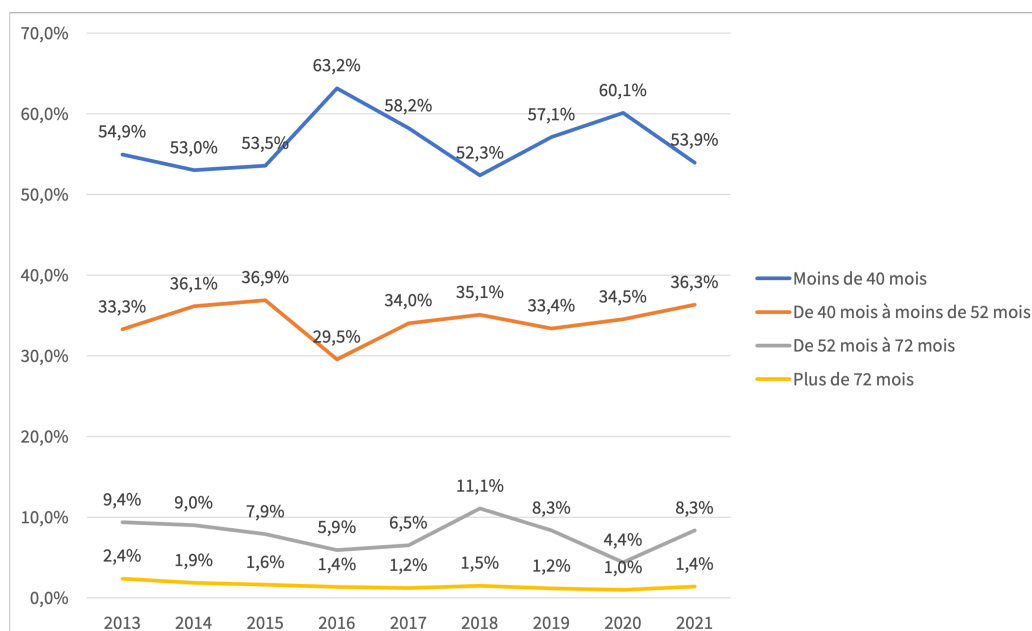
6. Marie KERJEAN, Frédéric LE ROUX, Patrick MASSOT, Micaela MAYERO, Zoé MESNIL, Simon MODESTE, Julien NARBOUX & Pierre ROUSSELIN. « Utilisation des assistants de preuves pour l'enseignement en L1. Retours d'expériences », Bulletin de la Société Mathématique de France, n° 174, p. 35-55, octobre 2022.

7. L'article 14 de l'arrêté du 25 mai 2016 fixant le cadre national de la formation et les modalités conduisant à la délivrance du diplôme national de doctorat stipule : « La préparation du doctorat, au sein de l'école doctorale, s'effectue en règle générale en trois ans en équivalent temps plein consacré à la recherche ».

8. Sacha KALLENBACH, Sonia DUBOURG-LAVROFF, Christelle GILLARD & Denis ROLLAND. « Le doctorat en France : du choix à la poursuite de carrière », rapport de l'IGÉSR n° 2020-114, juillet 2020.



Figure VII.1.1- Évolution de la durée des thèses en mathématiques.



Source : Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, sous-direction des systèmes d'information et des études statistiques.

Dans la synthèse du rapport de l'Inspection générale de l'éducation du sport et de la recherche<sup>9</sup>, les auteurs écrivent : « Il est du rôle des écoles doctorales de vérifier que les sujets de thèse proposés sont réalisables dans une durée de trois ans, même si des prolongements exceptionnels doivent être possibles. » Ils ajoutent : « Le travail de recherche au cours de la thèse (...) doit aussi permettre d'acquérir des compétences transverses : par exemple liées à la gestion de projet ou la rédaction de demandes de crédit et d'articles, de travail en collaboration ou encore de valorisation. »

Si des prolongations annuelles peuvent être accordées, c'est à titre dérogatoire et la poursuite du financement de la thèse<sup>10</sup> est compliquée alors que le rapport de l'Inspection générale de l'éducation du sport et de la recherche<sup>11</sup> pointe le risque d'abandon de thèses mal financées<sup>12</sup> : « Certains doctorants financent eux-mêmes leur doctorat, ils font appel au revenu d'un membre de la famille, parents ou époux. 17 % des doctorants acceptent des emplois sans rapport avec leur travail de thèse. Ces situations sont toujours fragiles car elles sont difficilement soutenables dans la durée sauf à disposer d'une fortune personnelle. » Ce rapport indique également : « En cas de prolongement de la durée de la thèse, le directeur de la thèse et l'école doctorale sont responsables de la recherche d'un financement pour couvrir cette

9. Sacha KALLENBACH, Sonia DUBOURG-LAVROFF, Christelle GILLARD & Denis ROLLAND. *Ibid.*

10. L'article 11 l'arrêté du 25 mai 2016 *ibid.* stipule : « Lors de l'inscription annuelle en doctorat, le directeur de l'école doctorale vérifie que les conditions scientifiques, matérielles et financières sont assurées pour garantir le bon déroulement des travaux de recherche du doctorant et de préparation du doctorat ».

11. Sacha KALLENBACH, Sonia DUBOURG-LAVROFF, Christelle GILLARD & Denis ROLLAND. *Ibid.*

12. La citation qui suit est relative à l'ensemble des thèses, pas uniquement aux thèses en mathématiques. Voir ci-après pour plus de détails.

période supplémentaire. » Les données<sup>13</sup> demandées au Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur<sup>14</sup> pour le dossier d'évaluation d'une formation de 3<sup>e</sup> cycle comprennent notamment la durée des thèses financées et non financées ainsi que les sources de financement.

En 2018, la proportion d'inscriptions en première année de thèse en mathématiques ayant un financement dédié s'élevait à 98 %, la proportion de doctorants exerçant une activité rémunérée pour une autre activité que la thèse s'élevait à 2 % et la proportion d'étudiants non rémunéré était négligeable<sup>15</sup>.

Les bourses de thèse en trois ans en France sont courtes comparées à ce qui se fait à l'étranger. Aux États-Unis par exemple<sup>16</sup>, la médiane de temps écoulé entre l'entrée en *graduate school* et l'obtention du doctorat est de 7 ans<sup>17</sup> avec très peu de variation annuelle entre 2000 et 2020. L'édition 2021<sup>18</sup> de ce rapport évalue à 94,2 % la proportion de docteurs en mathématiques dont la thèse a été financée par une activité en lien avec celle-ci (assistant d'enseignement, assistant de recherche ou bourse), à 4 % la proportion d'étudiants ayant auto-financé leur thèse (par un prêt, des économies personnelles ou en exerçant une activité rémunérée pour une autre activité), à 1,8 % la proportion de ceux disposant d'un autre mode de financement (notamment bourse d'un pays autre que les États-Unis).

Le processus de Bologne recommande des durées de thèse de 3 à 4 ans<sup>19</sup>. Mais on lit sur le site du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche<sup>20</sup> : « L'introduction en 2003 du doctorat dans le processus de Bologne n'en fait pas pour autant un diplôme comme le Bachelor et le Master : l'Allemagne, comme beaucoup d'autres pays, s'est opposée très clairement à toute régulation du doctorat. » Un rapport de 2012<sup>21</sup> mentionne que la durée réelle des thèses de mathématiques en Allemagne est de 4,3 ans.

Des échanges avec des mathématiciens Suisses indiquent que la durée des thèses en Suisse ont une durée standard de 4 ans, la durée étant extensible sans trop de difficulté. L'un d'eux ajoute : « Trois ans, c'est très court. » Le portail d'information<sup>22</sup> aux étudiants de l'École polytechnique fédérale de Zürich signale : « *On average a doctorate at ETH Zurich takes a little more than four years to complete. The maximum duration for a doctorate is six years. Subject to a well-founded request and the agreement of the department in question, the Vice-Rector for*

13. Voir <https://tinyurl.com/apde2yss>.

14. HCÉRES : autorité publique indépendante chargée d'évaluer l'ensemble des structures de l'enseignement supérieur et de la recherche, ou de valider les procédures d'évaluations conduites par d'autres instances.

15. « L'état de l'Emploi scientifique en France. Rapport 2018 », Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

16. *National Center for Science and Engineering Statistics, National Science Foundation*. « *Doctorate Recipients from U.S. Universities: 2020* », Rapport n° NSF 22-300, novembre 2021.

17. Si l'on considère que la *graduate school* commence à un niveau comparable au début du second cycle universitaire français, cela équivaut donc à une préparation de thèse de l'ordre de 5 ans.

18. *National Center for Science and Engineering Statistics, National Science Foundation*. « *Doctorate Recipients from U.S. Universities: 2021* », Rapport n° NSF 23-300, 2022.

19. « *Bologna Seminar on "Doctoral Programmes for the European Knowledge Society" (Salzburg, 3-5 February 2005). Conclusions and recommendations.* ». <https://eua.eu/downloads/publications/salzburg%20recommendations%202005.pdf>.

20. « 23 fiches pour mieux comprendre la construction de l'Espace européen de l'enseignement supérieur ». 26 janvier 2018. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/23-fiches-pour-mieux-comprendre-la-construction-de-l-espace-europeen-de-l-enseignement-superieur-50519>.

21. Steffen JAKSZTAT, Nora PRESSLER & Kolja BRIEDIS. « *Promotionen im Fokus. Promotions- und Arbeitsbedingungen Promovierender im Vergleich* », HIS : Forum Hochschule,15|2012.

22. <https://ethz.ch/students/en/doctorate/maximalfrist.html>.

*Doctoral Studies may extend this period.*<sup>23</sup> » Selon l'article 9 de l'« Ordonnance sur le doctorat délivré par l'École polytechnique fédérale de Lausanne »<sup>24</sup> : « [Le sujet de thèse] doit en règle générale permettre la réalisation de la thèse dans un délai de quatre ans à compter de l'immatriculation du candidat. » Enfin, un rapport d'évaluation d'un programme de financement Suisse<sup>25</sup> mesure la durée de thèse variant de 52 mois à 80 mois en fonction de la source de financement.

#### VII.1.4. Difficultés du travail interdisciplinaire

##### Résumé

Deux freins au travail interdisciplinaire sont identifiés : l'évaluation menant à l'évolution des carrières des chercheurs et enseignants-chercheurs, notamment les plus jeunes y compris les doctorants rend difficile la prise de risque interdisciplinaire; le mode d'affectation des chercheurs empêche la double affectation.

Le mode d'évaluation, que ce soit au Centre national de la recherche scientifique ou à l'université, rend difficiles l'évaluation et la promotion des chercheurs travaillant à l'interface entre deux disciplines. Par exemple, les commissions interdisciplinaires<sup>26</sup> du Comité national de la recherche scientifique peuvent recruter des jeunes chercheurs mais ne peuvent pas ensuite les promouvoir, cela étant du ressort des sections, qui par nature ont tendance à privilégier les chercheurs travaillant entièrement dans le périmètre de la section.

Il en résulte qu'il est difficile pour un jeune de se lancer dans un projet de collaboration interdisciplinaire sans visibilité pour sa carrière. L'interdisciplinarité a tendance à être réservée aux chercheurs installés qui peuvent plus se permettre de prendre des risques. Arezki BOUDAUD<sup>27</sup> affirme ainsi : « Un jeune chercheur doit gérer à la fois sa maturation scientifique et la communication avec son environnement; les promotions ensuite peuvent poser problème. »

Le mode d'organisation des laboratoires en France permet difficilement la double affectation entre deux laboratoires dans des domaines différents. C'est un frein au développement des interactions entre disciplines. Il existe des structures de type « hôtel à projets » permettant de réunir ponctuellement des équipes multidisciplinaires dans un même lieu, mais les durées d'accueil sont trop courtes pour réellement favoriser la construction de projets à long terme. Une bonne alternative est une structure telle que l'Institut des systèmes complexes de Paris Île-de-France<sup>28</sup>. Il s'agit d'une unité d'appui et de recherche du Centre national de la recherche scientifique dédiée à la recherche interdisciplinaire dans le domaine des systèmes complexes. C'est donc un « vrai » laboratoire qui se voit affecté des chercheurs.

23. En moyenne, un doctorat à l'ETH Zurich prend un peu plus de quatre ans. La durée maximale d'un doctorat est de six ans. Sous réserve d'une demande motivée et de l'accord du département concerné, le vice-recteur aux études doctorales peut prolonger cette période.

24. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/300/fr>.

25. Janine Lüthi, Gwendolin Mäder, Michèle Amacker. « *Evaluation of the Swiss National Science Foundation's Doc.CH Funding Scheme. Final Report* », 17 avril 2019.

26. Le Comité national de la recherche scientifique, CoNRS, participe au recrutement et au suivi de la carrière des chercheurs du Centre national de la recherche scientifique et au suivi de l'activité des unités de recherche. Il s'appuie pour cela sur des sections disciplinaires (la section 41 pour les mathématiques) et commissions interdisciplinaires (CID). Ces dernières sont en particulier habilitées à co-évaluer l'activité scientifique des chercheurs qu'elles ont recrutés et se prononcer sur les demandes liées à leurs carrières.

27. Professeur de l'École polytechnique, chercheur en morphogénèse végétale.

28. ISC-PIF. Unité d'appui et de recherche n° 3611.

D'après Patrice ABRY<sup>29</sup> : « Une référence internationale parmi les instituts multidisciplinaires est le *Santa Fe Institute*. » Celui-ci regroupe des personnels permanents (parmi lesquels des mathématiciens), des membres externes, post-docs issus de plus de 80 institutions de 20 pays. Les thèmes de recherche mobilisent des réseaux larges de chercheurs de disciplines diverses, dont les mathématiques.

### VII.1.5. Manque d'intérêt pour les mathématiques

#### Résumé

Alors que les objets qui nous entourent ne pourraient pas fonctionner sans mathématiques, on note un manque d'intérêt pour les mathématiques.

Alors que les objets qui nous entourent ne pourraient pas fonctionner sans mathématiques et que les enjeux du monde réel (complexes) se doivent de fédérer toutes les disciplines, on note un manque d'intérêt pour les mathématiques par manque de connaissance.

On constate un paradoxe : plus les objets du quotidien (ordinateurs, internet, smartphone etc.) deviennent sophistiqués et requièrent des mathématiques pour leur conception et leur fonctionnement, moins les jeunes semblent s'intéresser aux mathématiques.

Une part des étudiants ne trouvent pas de sens aux mathématiques qu'ils ne jugent pas assez proches des problématiques concrètes, des enjeux sociétaux, éthiques sans doute par manque de connaissance sur certains sujets multidisciplinaire.

Le Collectif Efficiences<sup>30</sup> indique : « Nous constatons que les sujets de recherche que nous sommes amenés à découvrir durant notre parcours sont rarement des sujets véritablement impliqués, c'est-à-dire motivés par les besoins du monde réel. Cela peut mener à des points aveugles dans la représentation qu'ont les étudiants des voies de recherche à investir. »

Georges GONTHIER<sup>31</sup> ajoute : « Je pense qu'on pourrait rendre les mathématiques plus attractives en les couplant plus avec l'informatique : celle-ci valorise l'aspect logique des mathématiques (alors que les couplages avec la physique ou la biologie reposent plus sur les aspects quantitatifs des mathématiques). C'est un aspect porteur qui peut motiver les étudiants à construire des objets virtuels. »

## VII.2. Pistes de solutions identifiées par le groupe de travail

### Proposition VII.1

Renforcer l'appui en calcul scientifique et statistiques en recrutant plus d'ingénieurs et techniciens qui pourraient être affectés dans des unités d'appui et de recherche.

29. Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique, physicien, directeur de l'Institut Rhônealpin des systèmes complexes.

30. Efficiences est un collectif étudiant dont les membres souhaitent s'« emparer des problèmes prioritaires de ce monde à travers notre pratique scientifique ».

31. Directeur de recherche inria, informaticien.

L'objectif est de soutenir des projets de recherche en mathématiques développant ou utilisant des logiciels de calcul scientifique. Ce développement favorisera notamment des projets en lien avec d'autres disciplines. Le recours à des personnels permanents permet en particulier l'acquisition de la culture multiple nécessaire à l'interdisciplinarité et une meilleure pérennisation des codes produits et un entretien d'un archivage répondant aux principes *Fair*<sup>32</sup>.

Cet appui pourrait être apporté par une structure de mutualisation au niveau des sites universitaires. Marco PICASSO<sup>33</sup> témoigne de l'organisation à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) : « Il n'y a pas d'ingénieurs permanents dans l'institut de mathématiques de l'EPFL mais la plateforme *Scitas* embauche des ingénieurs pour maintenir et développer du code. Cela représente 25 personnes pour toute l'EPFL ». En France, un exemple est l'unité d'appui et de recherche Gricad<sup>34</sup> basée à Grenoble. Les missions de l'unité sont :

- l'accompagnement et le conseil aux chercheurs de toutes disciplines du site de Grenoble en réponse à leurs besoins liés au calcul et à la donnée;
- la mise à disposition de l'ensemble des chercheurs et personnels d'infrastructures avancées et mutualisées pour le calcul intensif et l'exploitation des données de la recherche;
- la participation aux infrastructures de site en terme d'hébergement et de stockage.

En janvier 2022, l'unité comportait 4,55 équivalents temps pleins permanents et 3 équivalents temps plein en contrat à durée déterminée pour le calcul et les statistiques et 6 équivalents temps pleins pour l'ingénierie système. Une partie des ingénieurs et techniciens partage son temps de travail entre une unité de recherche (par exemple un laboratoire de mathématiques ou de physique) et l'unité Gricad.

### Proposition VII.2

Permettre un aménagement dans la scolarité pour inclure un stage long (un an) lors d'une thèse. Rallonger les financements de thèse d'une année au moins dans un premier temps pour des sujets nécessitant une culture pluridisciplinaire.

Les conséquences d'une forte incitation à limiter la durée des thèses à trois ans et la difficulté à trouver des financements pour étendre cette durée ont été largement développées dans la partie VII.1.3 page 120. Allonger la durée permettrait de ne pas handicaper les doctorants français « dans un paysage de concurrence démente » en reprenant les mots de Patrick PÉREZ<sup>35</sup> qui ajoute : « La France est le pays où les thèses sont les plus courtes; trois ans c'est court quand on est en compétition avec ceux qui la font en quatre ou cinq ans. »

L'allongement de la durée des thèses permettrait aussi d'insérer pendant la thèse, et lorsque le sujet s'y prête, un stage long (typiquement d'un an) en entreprise. Toujours selon Patrick PÉREZ : « [Une durée de thèse limitée à trois ans] rend plus difficile de faire un stage long en entreprise pendant sa thèse, une pratique qui se développe et devient un passage obligé. »

L'arrêté du 25 mai 2016 fixant le cadre national de la formation et les modalités conduisant à la délivrance du diplôme national de doctorat permet une année de césure mais le périmètre de mise en œuvre de celle-ci est limité (pour ne pas transformer cette année en une année supplémentaire non rémunérée de thèse). L'article 14 de l'arrêté indique ainsi que pendant la période de césure : « le doctorant suspend temporairement sa formation et son travail de

32. Les principes *Fair* (*findable, accessible, interoperable, reusable*) décrivent comment les données doivent être organisées pour être plus facilement accessibles, comprises, échangeables et réutilisables par tous.

33. Professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne.

34. Unité d'appui et de recherche. CNRS & Université Grenoble-Alpes.

35. Vice-président intelligence artificielle de Valeo et directeur de valeo.ai.

recherche », ce point semblant scrupuleusement appliqué par les écoles doctorales. L'annexe « Doctorat » du « Règlement des césures » de Sorbonne Université précise par exemple que « le doctorant suspend totalement ses activités en relation avec ses travaux de thèse » pendant la césure.

Le décret du 23 avril 2009 relatif aux doctorants contractuels des établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche met en place la possibilité pour les doctorants d'exercer une activité complémentaire mission d'expertise effectuée dans une entreprise, une collectivité territoriale, une administration, un établissement public, une association ou une fondation. Le décret précise que la durée annuelle de cette activité complémentaire ne peut excéder 32 jours de travail ce qui exclut de fait toute insertion longue au sein d'une entreprise.

Le dispositif de thèse Cifre semble quant à lui, et au contraire du dispositif de mission d'expertise, trop contraignant en terme de sujet de thèse pour répondre à une généralisation des relations doctorants/entreprises à un plus grand nombre de doctorants.

### Proposition VII.3

Inciter tous les chercheurs et chercheuses à diffuser leurs productions (articles, pre-print, codes...) en accès ouvert le plus tôt et largement possible afin que leurs résultats puissent toucher des communautés « extra » disciplinaires; Encourager une édition scientifique multidisciplinaire, et une édition mathématique tournée vers les autres sciences.

Les mathématiciens qui souhaitent nourrir leur recherche de problèmes issus du réel, ou en retour apporter leur expertise pour répondre à des problèmes du réel, se heurtent par méconnaissance des usages de publication propres à chaque discipline à la difficulté de trouver et d'accéder à la littérature des autres disciplines scientifiques. La réciproque est vraie : il est difficile pour les scientifiques non mathématiciens d'aborder la littérature mathématique. Les progrès de la science ouverte permettent une meilleure ouverture des contenus scientifiques, mais il reste souvent compliqué de savoir où chercher l'article.

Le groupe de travail préconise que la communauté de recherche dans son ensemble soit sensibilisée à l'importance de la diffusion des résultats en accès ouvert le plus tôt possible et de sorte qu'ils soient bien référencés et facilement « trouvables » (*via* des archives ouvertes ou des revues en libre accès - la diffusion sur des pages web personnelles n'étant pas suffisante pour un référencement correct).

Enfin, il serait pertinent d'encourager les revues interdisciplinaires déjà existantes (ou d'en créer de nouvelles sur des domaines interdisciplinaires lorsqu'il n'en existe pas) et de valoriser la publication dans ces revues. Enfin, il serait intéressant d'envisager une évolution du format de publication des revues traditionnelles de mathématiques afin d'intégrer dans les articles (lorsque cela est pertinent) un résumé ou de nouvelles métadonnées permettant à des non spécialistes (voire au grand public) d'appréhender la portée potentielle du contenu.

### Proposition VII.4

Augmenter la formation des étudiants à l'utilisation de logiciels de calcul, notamment en traitant des données non issues de contexte purement mathématiques. Développer l'utilisation d'outils d'assistance de preuve dans les enseignements, au moins dans un premier temps dans l'enseignement supérieur.

Une formation généralisée des étudiants aux logiciels de programmation et de calcul dans des contextes non uniquement liés aux mathématiques devrait accroître l'employabilité des étudiants et leur ouvrir des horizons nouveaux favorisant l'interdisciplinarité. En plus de ces enseignements, le groupe de travail recommande de développer l'utilisation des assistants de preuve. Ceux-ci devraient favoriser l'apprentissage de la notion de preuve qui est utile à tous en tant qu'outil du raisonnement quotidien. La coexistence des deux enseignements, aux côtés des cours existants de programmation, permettra d'aborder de manière critique l'utilisation de logiciels en boîte noire et de mieux cerner ce que peut être un raisonnement mathématique rigoureux.

#### Proposition VII.5

Valoriser les débouchés offerts par les études en mathématiques.

Le groupe de travail propose de mettre en avant les débouchés importants offerts par les études mathématiques dans le monde du travail que les jeunes souvent ne soupçonnent pas. Pour les jeunes qui s'interrogent sur le sens de faire des mathématiques alors que des problèmes urgents sont à résoudre, il convient de mieux faire connaître des exemples d'interactions mathématiques et autres disciplines réussis face à des enjeux du monde réel.

Trois modes d'action sont proposés :

- interventions de mathématiciens dans les lycées, par exemple en lien avec l'Institut des mathématiques pour la planète Terre. Les débouchés des études de mathématiques pourraient être abordés systématiquement et, pour cela, un accès facile à des ressources sur le sujet pourrait aider les intervenants;
- intervention de scientifiques dans les écoles de journalisme et auprès des journalistes (notamment de la presse scientifique);
- communication (réseaux sociaux, portails...) sur les contributions des mathématiques qui ont permis de résoudre des problèmes concrets.

#### Proposition VII.6

Valoriser les applications de la recherche en mathématiques en lien avec le système Terre (Terre vivante, Terre humaine et Terre fluide), notamment en favorisant la montée en puissance de l'Institut des mathématiques pour la planète Terre et en mettant en place un partage des documents produits lors d'enseignements sur ce système Terre.

Initié par le Centre national de la recherche scientifique à travers l'Institut National des Sciences Mathématiques et de leurs Interactions, l'Institut des mathématiques pour la planète Terre est un Groupement d'Intérêt Scientifique fondé par le Centre national de la recherche scientifique, l'École normale supérieure de Lyon, l'Université Clermont Auvergne, l'Université Grenoble Alpes, l'Université Jean Monnet Saint-Etienne, l'Université Claude Bernard Lyon 1 et l'Université Savoie Mont Blanc.

Ce projet consiste essentiellement en un institut sans mur, à vocation nationale, capable de fédérer largement la communauté mathématique pour aborder des questions provenant d'autres domaines scientifiques dans une approche pluridisciplinaire. L'institut se doit de fonctionner dans les deux sens entre les disciplines : un point d'entrée permettant aux collègues d'autres disciplines de trouver les bonnes compétences requises pour répondre à leurs

questions, un organe interne à la discipline avec une légitimité pour préciser les définitions de l'interdisciplinarité impliquant un développement théorique et méthodologique en mathématiques. Il finance des équipes de recherche pluridisciplinaires autour de problématiques relevant de thèmes « Mathématiques Planète Terre ».

Son financement est fragile et le groupe de travail recommande un niveau de financement type Labex puis Européen pour accompagner sa montée en puissance.

La valoriser des applications de la recherche en mathématiques en lien avec le système Terre (Terre vivante, Terre humaine et Terre fluide) passe aussi par la mise en avant de l'association des mathématiques avec les autres disciplines sur des enjeux cruciaux comme ceux en lien avec l'environnement et l'écologie.

Il convient de soutenir et d'accompagner toute action collective ayant pour but de recenser et de centraliser les documents pédagogiques de tous niveaux (cours de licence et de master, cours doctoraux, écoles de recherche, travaux dirigés) et de tous formats (transparents, vidéo, images) liés à des enseignements introductifs aux sciences du climat, aux sciences de la biodiversité, aux enjeux de santé et de santé globale, aux transitions écologiques et énergétiques et d'une manière générale tout ce qui se rapporte à l'environnement et l'écologie.

Avoir une cartographie et des pointeurs sur des projets interdisciplinaires où les mathématiques pourraient être identifiées comme acteurs serait un réel avantage notamment en direction des jeunes qui s'éloignent des mathématiques.

#### Proposition VII.7

Mettre en avant les travaux scientifiques pour une meilleure visibilité par le grand public plutôt qu'une personne et penser à mieux panacher récompenses individuelles et récompenses collectives.

« Nous faisons face à des enjeux cruciaux qui ne pourront être abordés que par des actions collectives multidisciplinaires. Reconnaître et mettre en avant l'importance d'un collectif est primordial. »

En 2018, dans un discours<sup>36</sup> de quinze minutes à l'Académie des sciences, Laure SAINT-RAYMOND présente un plaidoyer intitulé « La science dont je rêve ». On y retrouve une analyse pleine de sagesse et un appel à la raison. Son constat sur la multiplication des prix et des distinctions qui souvent ont tendance à s'accumuler vers la même personne interpelle. Il est vrai que l'on aime mettre en avant quelques personnes que l'on considère alors comme les meilleures. Il faudrait pourtant mettre en avant la science et non la personne et privilégier la reconnaissance d'un collectif qu'il soit disciplinaire ou interdisciplinaire quand il est à l'origine d'un résultat scientifique majeur. Ne mettre en avant que des individus et non les résultats véhicule une image fautive de la recherche et ne permet pas d'identifier la richesse et l'importance de la diversité scientifique. Le public restreint alors sa connaissance de la science à quelques figures mises en avant ce qui a terme est dommageable. Ceci peut d'ailleurs contribuer à éloigner les jeunes d'une formation mathématique par exemple qu'ils pourraient juger trop élitiste et individuelle.

36. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_sDptYB2kxk](https://www.youtube.com/watch?v=_sDptYB2kxk)



## Crédits des illustrations

Page 15	Tim Hoffmann.		CC BY-NC-SA 3.0.
Page 27	Oliver Labs.		CC BY-NC-SA 3.0.
Page 39	Torsten Stier.		CC BY-SA-3.0.
Page 51	Christian Gaier.		CC BY-NC-SA 3.0.
Page 71	Patrice Jeener.		CC BY-NC-SA-3.0.
Page 105	Aubun Aroyo.		CC BY-NC-SA-3.0.
Page 117	Francis Lazarus & Florent Tallerie.		CC BY-NC-SA-3.0.

Les images sont disponibles sur le site de l'organisation sans profit de droit allemand (gGmbH)

# IMAGINARY

open mathematics

<https://www.imaginary.org/>

Références des licences :

- CC BY-SA 3.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>
- CC BY-NC-SA 3.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.fr>

