

# ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES

## Résoudre l'équation « France »

### DIX PROPOSITIONS

Rapport présenté par :

François JEGER – Nadia FRONTIGNY – Olivier PERALDI

Membres du groupe de travail :

Aude de CHAVAGNAC, Olivier COLLAS, Benoit DESAVOYE, Marc DHOMBRES, Bertrand DUCLOS,  
Laurent FERRIER, Patrice FAN, Olivier GOUSSARD, Michel HAMOUSIN, Marc SIMON.

1



MARS 2023





L'Institut Chiffres & Citoyenneté est un *think tank*. Il s'inscrit dans une démarche de recherche, d'analyse et de diffusion de travaux portant sur les sujets sociétaux, économiques et citoyens. Il rassemble des personnalités, femmes et hommes, de tous horizons socio-professionnels souhaitant s'engager en faveur du débat public.

L'Institut Chiffres & Citoyenneté se donne ainsi pour mission d'agrèger les femmes et hommes de bonne volonté, représentant la diversité de la société française, respectueux des valeurs républicaines, et soucieux de sauvegarder, renforcer et développer l'esprit démocratique par le débat d'idées et la liberté de pensée.

L'Institut Chiffres & Citoyenneté n'est pas un parti politique. Il est libre de toute option politique, syndicale et/ou confessionnelle et ne reçoit aucune subvention ou don financier que ce soit d'organismes publics ou privés.



Retrouvez l'ensemble des travaux de l'Institut Chiffres & Citoyenneté  
sur [www.chiffres-citoyennete.fr](http://www.chiffres-citoyennete.fr)



■

## Enseignement des mathématiques : Résoudre l'équation « France »

■

### Note d'intention

La place des mathématiques et des sciences dans l'enseignement français alimente régulièrement les débats dont l'essentiel porte sur :

#### 1) Le rôle des maths dans l'enseignement secondaire

Depuis les années 1970, les maths ont été la matière de sélection qui angoissait le plus les élèves et leurs parents : « *Si le projet des mathématiques modernes des années 1960-1970, issues du mouvement bourbakiste et portant sur la nature des contenus enseignés, était théoriquement louable, il faut bien reconnaître que sa mise en pratique dans l'enseignement non universitaire a été un échec retentissant.* »<sup>1</sup>

Cet échec a conduit dans les années 1980 à des programmes moins abstraits faisant plus appel à l'intuition et l'expérimentation. Mais le choix des filières du bac S, ES, L est resté marqué par une hiérarchie où la plupart des élèves ayant le mieux réussi leur parcours scolaire était orientée vers la filière scientifique indépendamment de leur goût pour les « humanités ». Pour entrer à l'Ecole Paris-Dauphine en économie par exemple, il n'est rien que de constater qu'un bac S était plus apprécié qu'un bac ES.

La réforme du Bac, engagée à partir de 2019, visait à rompre cette hiérarchie en offrant un choix plus large, notamment par des cours de base obligatoires pour tous, avec options d'approfondissement et de spécialisation en première et en terminale.

L'association des professeurs de mathématiques déplore maintenant cette réforme qui aurait conduit à une baisse générale de niveau en maths. Ils estiment que la baisse de 18 % du nombre d'heures de cours pour faire face à la difficulté de recrutement de professeurs est l'une des causes majeures de cet effondrement.

Deux questions sont soulevées : quels impacts aurait cette situation sur la compétitivité des recherches scientifiques en France ? Pour les élèves, cette baisse générale du niveau de connaissance en mathématiques a-t-elle un effet en matière d'égalité des chances ?

---

<sup>1</sup> Rapport C. Villani, X.Torossian sur l'enseignement des mathématiques, 2018.

## 2) Le recul des mathématiciens français dans la compétition mondiale

Jusqu'aux années 80, la France était avec l'URSS et les Etats Unis sur le podium des nations comptant les meilleures écoles de mathématiques au monde. Entre 1950 et 1966, quatre médailles Field sur cinq furent attribuées à des mathématiciens français. Cela est arrivé moins souvent depuis (notons cependant Cédric Villani en 2010).

Ainsi, les élèves français ont-ils obtenu 495 points en mathématiques au test du PISA 2018 (auprès des élèves de 15 ans), légèrement au-dessus de la moyenne de l'OCDE (489 points). La France se classe entre la 15<sup>e</sup> et la 24<sup>e</sup> place en mathématiques parmi les pays de l'OCDE, avec une performance moyenne comparable à celle de l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, l'Irlande, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, le Portugal, le Royaume-Uni et la République tchèque.

En revanche, seul un élève français sur neuf (11 %) est très performant en mathématiques (au moins niveau 5), loin derrière les provinces et communes chinoises réunies de Pékin-Shanghai-Jiangsu-Zhejiang (un peu plus de 44 %), Singapour (près de 37 %), Hong Kong (Chine) (29 %), Macao (Chine) (près de 28 %), Taipei chinois (un peu plus de 23 %) et Corée (un peu plus de 21 %).<sup>2</sup>Ce nouveau classement tient, certes, beaucoup aux progrès de pays émergents (Chine, Inde...) Pour autant, est-ce la seule raison du mauvais résultat de l'équation française ?

Une question est désormais devenue prégnante : comment la France pourrait-elle retrouver sa place sur ce domaine d'excellence ?

## 3) Quelles inégalités sont accentuées par l'enseignement actuel des mathématiques ?

### 3.1.- Inégalités de genre

Si les filles réussissaient autant que les garçons dans l'ancienne série S, elles étaient très minoritaires (30 %) à s'engager en prépas d'école d'ingénieurs.<sup>3</sup> Les détracteurs de la réforme 2019 affirment que, dans les filières expertes en terminale, la part des filles a diminué.

Question : quels effets ce recul a-t-il et aura-t-il sur l'orientation dans le supérieur ?

### 3.2.- Les inégalités selon l'origine sociale des élèves

L'OCDE pointe la faiblesse du système éducatif français pour corriger les inégalités d'origine sociale. Sait-on si la sélection par les mathématiques est plus ou moins discriminante que celle qui affecte les lettres, la culture générale et l'expression orale ?

Sur cette base, le groupe de travail s'interrogera sur les points de réflexion suivants :

- faut-il distinguer au lycée les maths s'appliquant à la vie quotidienne de celles visant à la préparation aux études supérieures ? Quelles conséquences en termes de pédagogie (programmes et horaires) ?
- peut-on et doit-on adapter l'enseignement à une finalité professionnelle ?
- comment recruter, former et payer les enseignants en mathématiques ?
- quelle est, ou quelle pourrait être, la place de l'Enseignement assisté par ordinateur (EAO) et de l'Intelligence artificielle dans les processus d'apprentissage ?

---

<sup>2</sup> PISA 2018 Results (Volume I): "What Students Know and Can Do" © OECD 2019 1

<sup>3</sup> Voir le rapport C&C sur l'attractivité des études scientifiques 2018.

## Avant-propos

Le ministère de l'Education a annoncé le 13 novembre 2022 une nouvelle réforme visant à promouvoir l'enseignement des mathématiques en France. Cette annonce a été concomitante aux Assises des mathématiques tenues à Paris, au siège de l'UNESCO, du 14 au 16 novembre.

Durant ces assises, des chefs d'entreprises, industriels et autres, ont témoigné de l'utilité croissante des maths dans de nombreux métiers, notamment ceux liés au numérique et à la gestion des données. Ils ont exprimé leurs besoins de scientifiques devant des universitaires probablement déjà convaincus. Alors que l'Unesco alerte sur le recul de 2,2 % au regard du PIB des budgets consacrés à la recherche en France<sup>4</sup>, cet appel aux vocations sera-t-il suffisant pour réenchanter la discipline auprès des élèves ? Rien n'est moins sûr.

Le présent rapport est le produit d'un groupe de travail de l'Institut Chiffres & Citoyenneté suite à un énième cri d'alerte, en janvier 2022, du monde scientifique, sur la crise des maths en France. Il a sonné comme une prise de conscience plus impérieuse encore que les précédentes. Les causes de la désaffection des maths évoquées lors des nombreuses auditions menées par le groupe de travail sont multiples. Elles ne relèvent pas seulement de la pénurie du nombre d'heures d'enseignement consacrées à cette discipline. Des facteurs sociétaux jusqu'alors peu exprimés ou dont l'impact ont été, par habitude ou négligence, peu pris en compte participent à la désaffection désormais profonde pour les disciplines mathématiques et scientifiques. Le désamour de la France pour l'industrie depuis plus de quatre décennies n'y est, par exemple, pas étranger.

L'histoire des programmes est aussi à convoquer. Entre les années 1960 et 1990, aucun autre pays n'a été aussi loin dans le diktat des maths modernes. L'approche concrètement univoque, radicalement abstraite, voire dogmatique, et trop déconnectée de toute référence à la vie réelle, a dégouté générations d'élèves après générations d'élèves. Pire... elle est, de fait, devenue l'unique et omniprésente base de formation des professeurs d'aujourd'hui. Las, la question du recrutement et de la formation des maîtres aura été à peine abordée lors des assises. La question est pourtant essentielle.

Certaines de nos propositions se retrouvent dans les décisions du ministère. Si l'accentuation de la formation en maths des professeurs des écoles, par exemple, fait partie des propositions avancées récemment par le ministère de l'Education Nationale, la question du recrutement des professeurs bénéficiant d'une expérience professionnelle acquise dans des laboratoires de recherche ou dans l'industrie figure parmi les impensés qui empêche un renversement de l'approche réformatrice, pour peu que celle-ci existe.

Créer des clubs ludiques de maths dans les collèges est aussi une de nos suggestions.

Mesure la plus médiatisée : le rétablissement d'un enseignement obligatoire (une heure et demie) en première. Nous posons la question : cela sera-t-il suffisant pour remotiver des élèves qui autrefois seraient allés en section L ou ES ? La pédagogie nous paraît être plus déterminante que le nombre d'heures de cours. Trouvera-t-on dans le corps enseignant des personnes capables de partir du niveau et de susciter l'intérêt des « fâchés avec les maths » ? Les enseignants agrégés et certifiés ont été formés pour enseigner aux bons élèves.

Les réflexions de notre groupe de travail vont bien au-delà de ces questions d'horaires et de programmes.

---

<sup>4</sup>Chine + 44 %, Etats-Unis + 19,4 %, Europe + 11 %. Rapport *Une course contre la montre pour un meilleur développement*, Unesco, juin 2021.



## Sommaire

### 1.-Des facteurs d'inquiétude

- 1.1.-Recul du niveau des élèves français dans les classements internationaux
- 1.2.-Des étudiantes en sciences en nombre insuffisant
- 1.3.-Une remise en cause du nouveau baccalauréat
- 1.4.-La pénurie d'enseignants

### 2.-Des difficultés en rapport avec un enseignement français trop abstrait

- 2.1.-L'échec de l'enseignement des « mathématiques » modernes
- 2.2.-Un enseignement élitiste
- 2.3.-Une sélection abusive par les mathématiques
- 2.4.-Une réforme du baccalauréat mal comprise par les acteurs (professeurs et universitaires)

### 3.-Propositions

- 3.1.-Définir les compétences attendues des non-scientifiques
- 3.2.-Imaginer des jeux - concours pour les élèves du collège
- 3.3.-Porter attention à la classe à laquelle la sélection s'effectue au lycée
- 3.4.-Elargir le vivier et les modes de recrutement des professeurs
- 3.5.- Revoir les contenus de formation des professeurs des écoles
- 3.6.-Réformer complètement la formation des professeurs des collèges et des lycées
- 3.7.-Faire participer la société civile à la définition des programmes



## 1.- DES FACTEURS D'INQUIETUDE

### 1.1.- Recul du niveau des élèves français dans les classements internationaux

A peine nommé, le ministre de l'Education Nationale, Pap Ndiaye, en prend acte lors de son discours devant l'Assemblée Nationale, le 23 janvier 2023 : « *les constats relatifs au niveau scolaire sont durs et persistants. Ils concernent le niveau des élèves – les comparaisons internationales révèlent des lacunes préoccupantes – ainsi que la crise du recrutement des professeurs. Ils reflètent également l'expérience quotidienne des établissements, où les horaires annuels dans chaque discipline peinent à être couverts.* »<sup>5</sup>

Ce n'était certainement pas le moment pour égrener les difficultés rencontrées par la grande masse des élèves en France, ni mêmes celles pourtant également bien réelles du corps des enseignants. Et pourtant. Souligner, comme l'a fait le ministre, la nécessité d'« encore insister sur les enseignements fondamentaux » en orthographe, lecture et... calcul, pourrait laisser penser qu'il s'agit d'une simple question de volume d'heures d'enseignement. En passant sous silence l'impérieuse nécessité de revoir la méthode en profondeur. La décision de lancer en novembre 2022 une stratégie nationale dédiée à l'apprentissage des mathématiques qui instaure une heure et demie supplémentaire de cours de maths pour tous les élèves de Première générale va donc dans le bon sens, mais ne doit pas occulter la nécessité de repenser de fond en comble les méthodes d'enseignement.

Depuis plusieurs années les enquêtes internationales sur le niveau en mathématiques des élèves montrent un recul de la France par rapport aux autres pays. Cela tient à la fois à la baisse du niveau en France et à la progression de l'éducation dans les pays d'Asie et autres émergents. L'Education Nationale est ainsi en désarroi. En dix ans, le nombre d'enfants jugés en difficulté scolaire a augmenté de dix points.

La France s'est longtemps reposée sur son excellence dans la recherche au regard des nombreuses médailles Field obtenues par ses mathématiciens. C'était sans compter sur les illusions d'un mode d'enseignement très abstrait ; beaucoup plus abstrait que partout ailleurs.

Les comparaisons internationales peuvent parfois être sujets à critique (notamment du fait d'un tropisme anglo-saxon), mais, en 2022 des jeunes réfugiés ukrainiens récemment scolarisés en France ont trouvé le niveau plus faible que chez eux.

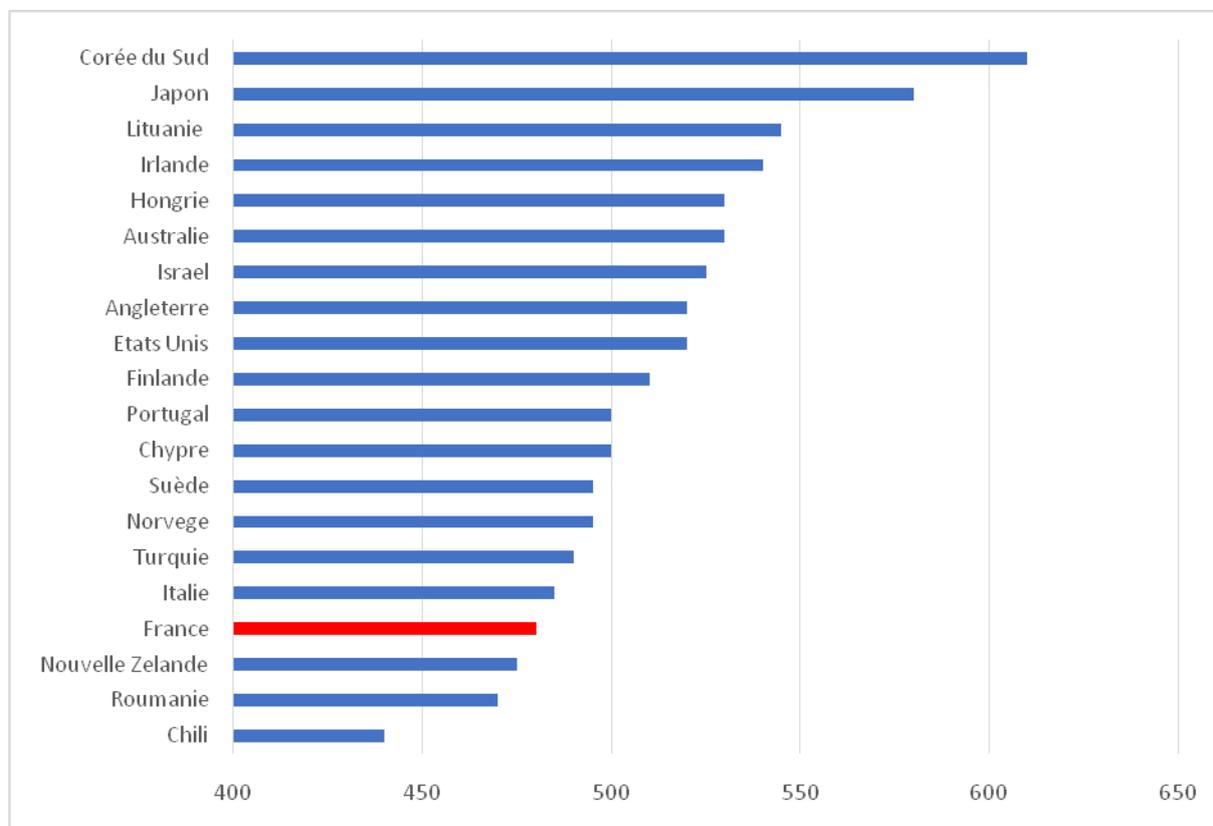
Mais il y a plus grave, lorsqu'il est constaté que le décrochage de la France concerne tant le niveau moyen des élèves que celui des « meilleurs » promis aux carrières scientifiques. Le niveau moyen de compétences en mathématiques en France est en baisse depuis près de 40 ans. Déjà présentée dans le rapport Villani-Torossian de 2018 et dans un certain nombre de notes de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (Depp),

---

<sup>5</sup> Déclaration de M. Pap Ndiaye, ministre de l'Education nationale et de la Jeunesse, sur l'état de l'école de la République, à l'Assemblée nationale, 10 janvier 2023.

l'évolution du niveau moyen de compétences en mathématiques des élèves français est préoccupante. Elle témoigne, quel que soit l'outil d'évaluation mobilisé (Timss<sup>6</sup>, Cedre, Lec ou Pisa), d'une baisse régulière de niveau depuis plus de quarante ans.

*Performance des pays de l'OCDE en mathématiques TIMSS 2019 (niveau scolaire 4<sup>e</sup>)*



Ce constat ne concerne pas seulement le niveau moyen mais aussi le niveau des « meilleurs » comme le montre le recul spectaculaire des élèves français classés dans le niveau avancé. De 15 % en 1995, leur proportion est tombée à... 1 %.

Le phénomène est d'autant plus inquiétant si l'on considère les résultats de l'étude menée par le Centre national de recherche scientifique (CNRS) qui évalue en 2022 l'impact des mathématiques sur le Produit intérieur brut (PIB) du pays à 18 % ; il était de 16 % en 2012. Toujours selon le CNRS, les mathématiques comptabilisent 3,3 millions d'emplois salariés en lien avec l'application de ses différentes disciplines<sup>7</sup>, soit 13 % de l'emploi salarié en France.

Des constats qui entrent dans les réflexions en cours sur le maintien de la souveraineté nationale, d'autant plus fortement qu'entre autres enjeux repérés aujourd'hui, la compréhension des mathématiques et leur utilisation sont essentiels dans un contexte de numérisation de l'activité humaine, dans le monde du travail comme dans la vie quotidienne du citoyen.

La désaffection pour les maths ne devrait pas plus être une fatalité pour la majorité des élèves français que pour leurs homologues des autres pays pris en compte dans les études

<sup>6</sup> Trends in international mathematics and science study.

<sup>7</sup> Telles que l'informatique, la production d'électricité et de gaz, le secteur recherche et développement scientifique, les télécommunications, etc.

internationales. Elle est d'ailleurs plus une fatalité si l'on considère certaines expériences qui, au fil du temps, s'imposent par l'engouement qu'elles rencontrent et les résultats qu'elles génèrent. Force est de constater que ces expériences sont généralement le fruit d'une initiative individuelle, lancée en dehors du cadre de l'Education Nationale, et faisant souffler un vent de fraîcheur libéré du carcan des méthodes institutionnalisées.

Tel est le cas de la chaîne YouTube de Yvan Monka, professeur de mathématiques au lycée Robert Schuman à Haguenau<sup>8</sup>. Avec plus de deux millions d'abonnés auxquels il convient d'ajouter 530 000 suiveurs sur son compte TikTok, l'enseignant redonne confiance aux désespérés des théorèmes et autres énigmes, vectorielles ou algébriques, par des démonstrations didactiques, concrètes et décomplexées. « Fais-moi confiance, en suivant mes conseils tu vas t'améliorer » est la phrase qui donne espoir à ces « élèves en ligne ». Plus de 1 800 vidéos génèrent près de 250 000 vues quotidiennes. Celle intitulée « comment réussir en mathématiques ? » a été téléchargée plus de 2,8 millions de fois. Qui a dit que les maths ne pouvaient pas rencontrer leur public ?

	Niveau avancé		Niveau élevé		Niveau intermédiaire	
	2015	1995	2015	1995	2015	1995
Russie	20	22	48	51	75	78
États-Unis	7	8	26	30	56	62
Slovénie	3	5	14	23	42	54
Italie	2	5	12	22	34	59
Suède	2	6	11	30	34	64
<b>France</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>64</b>	<b>43</b>	<b>96</b>
Norvège	1	10	41			

Source : *Timss Advanced 2015*.

## 1.2.- Des étudiantes en sciences en nombre insuffisant

Le constat d'une faible attractivité des études supérieures scientifiques n'est pas récent.<sup>9</sup> Selon les fédérations professionnelles<sup>10</sup>, il manquerait en France, 5 000 ingénieurs formés chaque année depuis plus de dix ans. Or, si les filles étaient aussi nombreuses que les garçons dans les écoles d'ingénieurs, le nombre d'ingénieurs formés augmenterait de 16 000 chaque année ; de quoi combler largement ce déficit. Par ailleurs, la part des jeunes filles dans le CPGE et les écoles d'ingénieur plafonne à 30 % depuis des décennies.

Le phénomène s'est même aggravé depuis la réforme du BAC de 2018. Alors que les filles étaient aussi nombreuses dans les anciennes classes de terminale S, en 2021 elles ne constituent plus que 40 % des 140 000 élèves de terminale ayant choisi la spécialité maths et surtout 30 % des 48 000 lycéens qui choisissent les « maths expertes » pour le BAC.

Avant, les filles réputées « bonnes élèves » passaient un bac S, filière jugée d'excellence (voir point 2.2). Aujourd'hui, elles ne forment que 40 % des élèves de terminale en option « mathématiques » et pas plus de 13 % pour l'option « numérique et sciences informatiques ».

En revanche, elles se portent plus massivement vers les sciences naturelles (60 %) ou physiques (47 %). Les maths n'étant plus obligatoires pour espérer suivre la voie royale, elles

<sup>8</sup> Yvan Monka, *le boss des maths sur YouTube*, Le Journal du Dimanche, 5 mars 2023.

<sup>9</sup> Rapport Institut Chiffres & citoyenneté, *La désaffectation des études scientifiques* « 37 000 ingénieurs sont formés chaque année dont 28 % de filles, soit 10 000 et donc 26 000 garçons », 2019.

<sup>10</sup> Voit notamment les études de Syntec Ingénierie.

se détournent d'une matière qui leur fait peur et conduisant à des filières professionnelles jugées moins « féminines » (ingénieurs) dans les représentations sociales. De fait, six bacheliers sur dix inscrits aux préparations au diplôme universitaire de technologie (DUT) sont des hommes, et les jeunes femmes ne représentent que 29 % de l'ensemble des inscrits aux filières scientifiques.<sup>11</sup> Pire : les femmes ne représentent que 27 % des doctorants en sciences et technologies de l'information et de la communication, et que 23 % des doctorants en mathématiques.

Les initiatives associatives dressent des pistes permettant d'imaginer des actions à grande échelle pour rapprocher les jeunes filles des études et métiers du domaine technologique, telles les formations délivrées par l'association Becomtech, repérées par les membres du groupe de travail C&C. En participant à des ateliers, étalés sur quatre semaines et organisés en partenariat avec des acteurs entrepreneuriaux de la tech, les élèves sont familiarisées avec des applications concrètes aux savoirs mathématiques et techniques. La formule : laisser le temps de la compréhension sans lequel il n'est pas d'apprentissage réel, et lutter contre le déterminisme sexué par la confiance en soi.

### 1.3.-Une réforme du bac remise en question

La réforme récente de 2019 a supprimé les filières S, ES et L, à partir de la Première du lycée au profit d'options. A l'issue de la Seconde, les élèves choisissent pour la classe de Première une combinaison de trois enseignements de spécialités (parmi une offre qui peut aller jusqu'à 12), et suivent tous, par ailleurs, des enseignements de tronc commun qui représentent 60 % du total horaire hebdomadaire ; en Terminale, ils conservent deux des trois spécialités et continuent à suivre un tronc commun. Avant la réforme, chaque série avait son propre menu avec la réforme, chaque élève fait un parcours « à la carte ».

De fait, la répartition des effectifs d'élèves en Terminale, selon le nombre d'heures de mathématiques suivies par semaine, avant et après la réforme, est sensiblement différente.

#### *Part des élèves en Terminale*

	Ancien bac	Nouveau bac (à partir de 2021)
< 3 heures / semaine	13,1 %	32,5 %
de 3 à 6 heures / semaine	86,9 %	54,6 %
> 6 heures / semaine	12,7 %	12,9 %

Il convient de noter l'existence dans le tronc commun de la 1<sup>ère</sup>, tel qu'établi dans la nouvelle mouture du Bac, un enseignement scientifique dans lequel des mathématiques sont intégrées. Cependant, d'après les données de la Depp, cet enseignement scientifique pluridisciplinaire n'est dispensé au total qu'à hauteur de 6 % par des professeurs de mathématiques. En conséquence, les éléments du programme qui mobilisent des mathématiques sont assurés par des enseignants de physique-chimie et de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), quand ils sont assurés. Autrement dit, la place des mathématiques y est très faible.

Au printemps 2022, l'opinion publique, ayant été alertée par les associations et les universitaires, sur le déclin de l'enseignement des maths en France, le gouvernement a missionné l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche (IGESR) pour en déterminer les causes et profiler, autant que possible, quelques pistes de réflexion pour redresser la barre.

<sup>11</sup> Etude *Femmes et hommes, l'égalité en question*, Insee Références, mars 2022.

Les conclusions du rapport sont claires, telle cette appréciation de la pluridisciplinarité mise en œuvre par la réforme de 2019<sup>12</sup> : « *sauf exception pour quelques initiatives locales remarquées, cette approche pluridisciplinaire est difficile à mettre en place quand des conditions de préparation et d'enseignement favorables ne sont pas réunies. De plus, cet enseignement, même si les programmes sont pensés pour un public divers, est souvent mis en œuvre de telle façon que les élèves 'scientifiques' s'y ennuient, quand les 'non scientifiques' ont des difficultés à s'y intéresser.* »

Si la réforme n'a pas fait baisser le niveau des 13 % de bons « matheux de Terminale » qui choisissent les maths expertes, un tiers des bacheliers n'aura pas d'épreuve de maths au baccalauréat. Ceux-ci peuvent donc, dès la seconde, abandonner l'option.

Il fallait réagir. Le ministère a fait volte-face par rapport à sa précédente et pourtant récente réforme, en ajoutant une heure et demie d'enseignement des mathématiques. Il est vrai que l'étude remise au ministre de l'Éducation nationale début 2022 n'y allait pas par quatre chemins en soulignant la baisse du niveau moyen de « compétences en mathématiques en France depuis près de quarante ans »<sup>13</sup>. Dans un même temps, constatant qu'avec 750 heures de cours de maths entre la maternelle et la fin de la Seconde, les élèves français étaient parmi ceux « bénéficiant » du plus grand nombre d'heures de tous les pays de l'OCDE. Alors, au-delà du volume d'heures, la question ne porterait-elle pas d'abord sur la méthode ?

D'autant que, suite aux propositions émises dans le rapport de l'IGESR, le ministère a annoncé le 11 mai 2022 le retour d'un enseignement obligatoire d'une heure et demie en Première à la rentrée 2022. Moins d'un mois plus tard, le Président de la République annonce que cette enseignement sera facultatif en 2022- 2023, et l'obligation repoussée en... 2023 ! Nous y voici donc.

Cet attermoiement résulte d'une part de la pénurie de professeurs et d'autre part de la réticence de certains, comme des vœux exprimés par les élèves de seconde : les maths restent un repoussoir pour l'immense majorité d'entre eux.

#### 1.4.- La pénurie d'enseignants

Ce n'est malheureusement plus une découverte : en France, les carrières d'enseignant sont de moins en moins attractives pour les jeunes diplômés. C'est particulièrement vrai pour les étudiants en mathématiques. Pourtant, et aussi pour cette raison même, la demande de mathématiciens est de plus en plus forte dans le secteur des nouvelles technologies : informatique, big data, intelligence artificielle. La France est en train de passer à côté d'un enjeu majeur de souveraineté, au moment même où cette notion est revenue au cœur des débats politiques et économiques du pays, suite aux carences révélées par les crises sanitaires, économiques et géopolitiques qui rappellent à quel point le monde peut-être tragique.

Les secteurs industriels et scientifiques offrent des débouchés et des perspectives de réalisation professionnelle sensiblement plus attractifs que l'enseignement, sans compter le niveau de rémunération nettement supérieur à celle d'un professeur. Le déficit d'attractivité se mesure à la baisse du nombre de candidats au Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement secondaire (CAPES). Ils étaient très exactement 4 074 candidats en 2005 ; ils ne sont plus que 2 075 en 2021 : une baisse de moitié pour un même nombre de postes offerts (environ 1 000).

---

<sup>12</sup>Rapport du jury du Capes maths 2022

<sup>13</sup>La place des mathématiques dans la voie générale du lycée d'enseignement général et technologique, étude et propositions du comité de consultation, ministère de l'Éducation Nationale, mars 2022, p. 11.

Par ailleurs, les jurys sont si inquiets de la baisse de niveau qu'ils sont amenés à retenir moins de candidats que de postes. En 2022, sur les 1 035 postes ouverts, 558 seulement ont été pourvus ! En effet le jury a écarté tous les candidats dont la moyenne était inférieure à 8/20.

Le flux de recrutement par cette voie jusqu'alors habituelle est donc si faible que l'Education Nationale recrute de plus en plus de contractuels et avec de telles difficultés que les offres sont publiées sur des plateformes grand public telle qu'« Indeed » ou « Le bon coin ». L'académie de Versailles, par exemple, a organisé des sessions de « job dating » pour tenter, sans y parvenir pleinement, de mettre un professeur dans chaque classe lors de la rentrée 2022.

Enfin, il est nécessaire de lancer une étude sur les freins aux vocations pour entrer dans l'enseignement en collèges et lycées, comme cela été fait pour les professeurs des écoles dans le cadre de la mission parlementaire « flash » demandée par le gouvernement aux députés Rodrigo Arenas (LFI) et Cécile Rilhac (Renaissance)<sup>14</sup> qui flèche notamment pour cette catégorie d'enseignants le manque de visibilité sur le parcours de carrière, la nécessité d'avancer d'un an le concours intervenant actuellement à la fin de la deuxième année de master, ou encore les difficultés d'éventuelles reconversions. La crise est telle qu'il faut revisiter tout le processus de recrutement (*cf. proposition 3.4*).

## 2.- DES DIFFICULTES EN RAPPORT AVEC UN ENSEIGNEMENT FRANÇAIS TROP ABSTRAIT

### 2.1.- L'échec de l'enseignement des « mathématiques » modernes

16

L'enseignement des mathématiques en France est particulièrement abstrait. En 1967, les membres de l'association des professeurs de mathématiques, réunis en congrès à Chambéry, ont décidé que l'abstraction ne devait pas être réservée à une élite. Éliminant toute autre considération, les programmes ont intégré de haut en bas de la chaîne de formation initiale, les « maths modernes », telles qu'issues des travaux de construction axiomatiques du groupe des mathématiciens français dit « Bourbaki » du début du XX<sup>e</sup> siècle.

Une génération d'élève (1970-1990) a servi de cobayes avant qu'une nouvelle réforme tire les leçons de cet échec. Les programmes ont été adaptés à nouveau mais les générations d'enseignants actuels sont encore marquées par cette approche privilégiant l'abstrait au concret.

*Exemple de programmes dans les années 1980*

**En classe de Quatrième**, on définit une fraction (ex  $3/5$ ) comme une « classe d'équivalence de couple d'entiers pour la relation  $(a,b) R (c,d)$  si  $a.d = b.c$  ».

Cette définition s'inscrit dans la construction « Bourbakienne » des entiers relatifs. Mais l'élève de 13 ans comprendrait plus facilement avec l'exemple simple et concret de « trois parts d'un gâteau, coupé en 5 »...

Cette approche des « maths modernes » récuse définitivement l'appel à toute intuition pour approcher les mathématiques. Pourtant, toutes les découvertes des mathématiciens avant le

<sup>14</sup> Rapport *Mission flash sur le recrutement, la mobilité et l'affectation des enseignants du premier degré*, R. Arenas / C. Rilhac, Commission des affaires culturelles et de l'éducation, nov. 2022.

XX<sup>e</sup> siècle se sont reposées sur des intuitions qui ont précédé leur démonstration

**En Seconde technique**, nous entendons encore par exemple qu'« un vecteur est une classe d'équivalence de bipoints »... Que comprendre, de but en blanc pour le public visé, d'une telle définition ?

Une illustration de l'abstraction française est donnée par la comparaison des définitions de la notion d'espace vectoriel dans les Wikipédia français et anglais. La définition française commence par la notion de « corps K » et utilise des symboles mathématiques. La définition anglaise quant à elle est littéraire, et s'achève par un petit croquis permettant le rapprochement immédiat avec la notion physique de force. (*voir annexe*)

Est-il possible de s'accorder, en France, pour admettre que la compréhension d'un vecteur est bien plus explicite à l'aide du dessin d'une flèche au tableau ?

La méthode dite « des maths modernes » née dans les années 60, a été partiellement abandonnée dans les années 1990. Mais une grande partie des professeurs actuels a été formée (ou déformée) durant cette trop longue et malheureuse période. Il en reste encore des scories y compris parmi les inspecteurs qui ont rédigé les instructions aux professeurs de Seconde accompagnant encore les programmes en 2019. Ainsi, pouvons-nous encore y lire :

*« En classe de seconde, on formalise la notion de loi (ou distribution) de probabilité dans le cas fini en s'appuyant sur le langage des ensembles et on précise les premiers éléments de calcul des probabilités. On insiste sur le fait qu'une loi de probabilité (par exemple : une équiprobabilité) est une hypothèse du modèle choisi et ne se démontre pas. Le choix du modèle peut résulter d'hypothèses implicites d'équiprobabilité (par exemple, lancers de pièces ou dés équilibrés, tirage au hasard dans une population) qu'il est recommandable d'explicitier ; il peut aussi résulter d'une application d'une version vulgarisée de la loi des grands nombres, où un modèle est construit à partir de fréquences observées pour un phénomène réel (par exemple : lancer de punaise, sexe d'un enfant à la naissance). Dans tous les cas, on distingue nettement le modèle probabiliste abstrait et la situation réelle »...*

Bienvenu au club, et bonne chance ! Si rien n'est évidemment faux, rien n'est concrètement compréhensible pour la grande majorité des élèves qui se voit asséné un entrelacement de notions essentiellement intellectualisées et sans « béquille » de projection avec la réalité et la quotidienneté de sa vie d'enfant ou du jeune. D'autant que la rédaction littérale utilisée présuppose une grande maîtrise lexicale de la langue qui comme l'ont, hélas, également démontré les études internationales, ne font pas des élèves français les mieux lotis en la matière.

Comment s'étonner dès lors que les deux tiers des 100 000 décrocheurs scolaires annuels en France soient des élèves des lycées professionnels ? Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour résoudre l'équation de la mise en échec des jeunes, dont les principaux paraissent être l'accompagnement renforcé de l'élève, ainsi que le travail sur la méthode d'enseignement.

Le premier facteur est le fait de personnes de bonne volonté : acteurs de terrain, associations et fondations... C'est le cas, par exemple et parmi beaucoup d'autres, de l'association C'Possible qui s'attèle à l'accompagnement des décrocheurs des établissements d'enseignement professionnel en proposant de les mentorer de façon individuelle, pour les rapprocher des réalités concrètes du monde du travail et de l'entreprise. En bref, il s'agit de leur redonner confiance en illustrant l'intérêt des connaissances par leur application dans le monde professionnel. La proposition de C'Possible de voir mis en place des « clubs

d'entreprises » en lien avec les lycées, notamment pour mieux penser et accompagner les stages en entreprise, est une piste qui a semblé intéressante aux membres du groupe de travail de C&C.

Le second facteur, portant sur les méthodes d'enseignement, reste un sujet largement impensé des réformes, limitées à tenter de résoudre les conséquences sans suffisamment appréhender les causes, manifestement plus délicates encore à traiter.

A titre illustratif, faut-il évoquer les publics et les niveaux auxquels est destiné l'apprentissage des notions mathématiques ? Force est de le constater, les programmes sont faits par des inspecteurs généraux. Même si la *doxa* voudrait persuader que l'objectif est d'élever le plus grand nombre à la connaissance, les faits (et surtout le déclin de l'apprentissage des maths en France), démontrent qu'ils sont conçus d'abord pour sélectionner les esprits les plus scientifiques. Et tant pis pour les autres. Ces programmes sont adaptés pour ceux considérés avertis aux maths, au travers d'une dégradation du contenu en supprimant les démonstrations les plus difficiles. Quoiqu'ils s'en défendent trop souvent, les concepteurs des programmes prêtent le flanc à une approche par trop déterministe des capacités des élèves à appréhender les maths.

Conséquences : cela a pour effet d'enseigner aux élèves de niveau moins avancé des concepts dont ils n'auront pas ou très peu l'usage et qu'ils ne peuvent donc pas bien assimiler. C'est une approche *top-down*, particulièrement constatée pour les voies générales. L'enseignement technique conduisant aux différents baccalauréats techniques, avec une ambition plus modeste a une bien meilleure approche auprès d'élèves souvent en difficultés. Il n'interdit cependant pas du tout l'accès à l'enseignement supérieur.

Selon Laurent Lafforgue, médaille Fields en 2002, membre démissionnaire en 2005 du Haut Conseil de l'Éducation « *les experts du pédagogisme dans le HCE seraient comme des Khmers rouges dans un groupe d'experts sur les droits humains* »...

Aux USA et dans d'autres pays, on part de ce que l'on peut assimiler au début et on progresse...

## 2.2 Un enseignement élitiste

Depuis les années 1980, l'orientation au lycée après la Seconde entre les différentes séries du baccalauréat général S, ES et L, ne s'est pas faite en fonction des goûts des élèves mais par une hiérarchie de « niveau ». La grande majorité des parents souhaitaient pour leurs enfants la « voie royale » du Bac S, censée ouvrir toutes les portes des études supérieures.

Prophétie auto-réalisatrice, les bons élèves choisissant cette série, et donc le Bac S devint une garantie de sérieux de l'étudiant pour les écoles et les universités.

Les professeurs de seconde étaient incités par les parents à préparer l'entrée en Première S pour la première moitié de la classe. L'autre moitié des élèves, considérée comme perdue par un enseignement trop abstrait, se décourageait avec de mauvaises notes et se jugeait de façon abrupte et rédhibitoire « des nuls en maths » pour le restant de l'existence. Conclusion : l'image des mathématiques reste valorisante tandis que la matière se dévalorise.

## 2.3.- Une sélection abusive par les mathématiques

Un bon niveau en maths en baccalauréat S est utile pour les futurs étudiants en sciences ou les futurs ingénieurs. Mais, ce n'est pas communément connu, il n'est pas du tout nécessaire par exemple, pour des études de médecine. En première année, seules les statistiques (bio statistiques) sont inscrites au programme des examens. Et ceux-ci se présentent sous la forme de questionnaires à choix multiples, faisant plus appel à la capacité d'exprimer rapidement

des formules apprises qu'à celle relevant de raisonnements mathématiques. Et pourtant, les dossiers d'inscription en première année sont encore largement évalués sur les notes en maths...

Il en est de même pour les études en sciences économiques. L'école Paris-Dauphine, parmi tant d'autres, continue de se flatter de sélectionner prioritairement les bons matheux<sup>15</sup>.

#### **2.4.- Une réforme du baccalauréat mal comprise par les acteurs, professeurs et universitaires**

A ce jour, depuis les réformes, deux générations seulement ont passé le nouveau Bac (2021 et 2022). Toujours dans le même rapport, la mission de l'IGESR a constaté des difficultés dans l'adaptation des critères de sélection universitaire au nouveau du Bac.

La prédominance des mathématiques dans la sélection persiste. Ainsi, selon le rapport, les commissions d'admission en première année de médecine « exploitent les éléments dans le dossier du candidat qui sont les plus significatifs pour la réussite à l'accès à la deuxième année des études de santé. Si ce modèle a l'avantage d'objectiver les critères de réussite dans des formations avec un nombre de candidatures très important, il peut en revanche conduire à figer certaines déterminations et confirmer le poids des mathématiques ».

### **3.-PROPOSITIONS**

#### **3.1.-Mesure 1 : définir les compétences attendues des non-scientifiques**

Contrairement aux intentions affichées, les programmes apparaissent établis d'abord pour les bons élèves. Le profil de ceux qui les définissent sont peu différenciés, ayant dans leur immense majorité suivi les mêmes cursus universitaires et professionnels ; disposant, à minima, d'une agrégation, tous professeurs à l'université ou en classe préparatoires.

Les programmes des autres classes et filières en sont des versions dégradées mais qui s'inscrivent toujours dans le même cadre conceptuel et abstrait faisant peu de cas d'illustrations adaptées à des contextes de la vie courante : règle de trois, intérêts composés, géométrie de la construction...

Il conviendrait pourtant de repartir de ces situations pour espérer intéresser le plus grand nombre d'élèves, en redonnant du sens concret dès le premier contact de l'enfant scolarisé avec les chiffres et la géométrie, et, plus largement, avec les raisonnements mathématiques. L'enjeu est enthousiasmant et la mission, somme toute, s'énonce clairement. Il s'agit pour le professorat de redonner goût à la curiosité déductive, et pour l'élève de retrouver celui de la découverte de son propre potentiel de réflexion. Cela doit à nouveau être possible en France. L'élève retrouverait alors une confiance en lui-même, acquise et développée grâce à un accompagnement professoral, débarrassé des dogmes, adapté aux réalités cognitives de chaque classe d'âge, mais aussi en lien direct avec la vie concrète des élèves.

Le programme de culture générale de mathématiques gagnerait à être défini par un panel de professionnels variés, au côté des professeurs.

---

<sup>15</sup>Dauphine: les secrets de l'algorithme qui sélectionne les bacheliers sur Parcoursup, Le Figaro Etudiant ,2 juin 2022.

Enfin, serait inclus dans les programmes des études supérieures non scientifiques telle, par exemple, ceux d'études de droit un socle minimum de mathématiques appliquées à la matière enseignée.

Il n'est pas admissible que des étudiants en fin de cursus d'études juridiques sont incapables de comprendre le mode de calcul d'un taux effectif global d'un prêt immobilier ou d'entreprise.

### **3.2.-Mesure 2 : imaginer des jeux-concours pour les élèves du collège**

L'attraction ou la répulsion pour les maths commence au collège. Les programmes consistent à préparer et rendre attractives la pratique des règles de l'algèbre et de la géométrie ; on n'imagine pas l'enseignement de la musique limité à l'apprentissage du solfège sans jamais être en contact avec la réalité de la pratique de l'instrument.

Il convient donc que les élèves prennent du plaisir et s'amuse. Il y a de nombreuses manières d'utiliser les maths pour résoudre des énigmes. Des concours pour résoudre ces problèmes pourraient être proposés en dehors des cours ordinaires. Cela pourrait susciter et stimuler la curiosité d'élèves qui ne réussissent pas très bien dans le cadre scolaire.

Cette mesure devrait être accompagnée de la mise en place, de façon généralisée, d'ateliers de mentorat auprès de collégiens et de lycéens, présentant le lien entre les études et les applications concrètes dans le monde de l'entreprise, et basé sur le volontariat des élèves.

### **3.3.-Mesure 3 : porter une attention particulière à la classe où s'effectue la sélection au lycée**

C'est entre le brevet et le Bac que se joue l'orientation vers les sciences. Avant 2019, la classe de Seconde était déterminante dans cette orientation. C'est à ce niveau que se dessinait la fracture entre une moitié qui se dirigeait vers la section S et l'autre moitié d'où était issu le bataillon des fâchés à vie avec les maths. La réforme de 2019 avait abandonné toute ambition sur ce point, en organisant la possibilité de faire totalement l'impasse sur les maths.

Il n'est pas certain que le retour annoncé fin 2022 d'une heure et demie par semaine de maths en première puisse redresser la situation. D'une part, l'absence d'épreuve au bac ne poussera pas les élèves non motivés à travailler. D'autre part, où trouvera t on les professeurs ?

Compte tenu des âges charnières de 15 à 17 ans, il conviendrait de donner un « temps de réflexion », et peut-être d'expérimentation, de trois ans (de la 3<sup>e</sup> à la 1<sup>ère</sup>) pour permettre une orientation définitive ou non vers les maths. Cela suppose de créer des groupes de niveau entre lesquelles il serait possible de passer. Un retard en Troisième pourrait ainsi être compensé par deux passerelles.

### **3.4.-Mesure 4 : élargir le vivier et les modes de recrutement des professeurs**

Enseigner les maths en terminale requiert un niveau supérieur à celui nécessaire au professeur de quatrième. Au collège, les élèves apprennent surtout le calcul algébrique (factorisation et identités remarquables) et quelques figures géométriques. Un titulaire d'un Bac + 2 technique maîtrise ces notions et peut les enseigner aussi bien qu'un certifié.

Il conviendrait alors de nommer les professeurs capétiens dans les lycées et les agrégés dans l'enseignement supérieur.

Il serait opportun de créer un corps de professeur de collège qui pourrait être intégré par des adultes (Bac + 2) ayant une expérience professionnelle différente, et désirant désormais former des élèves. Après une formation en alternance de six mois, ils pourraient être titularisés. Leur rémunération devrait alors tenir compte de leur situation antérieure.

### **3.5.-Mesure 5 : revoir les contenus de formation des professeurs des écoles**

Quatre reçus sur cinq des concours de professeur des écoles proviennent de licences non scientifiques. Ils n'ont pas manifesté un grand intérêt pour les maths durant leur scolarité. Ils n'en manifesteront pas plus pour les enseigner par la suite, surtout si la formation dans les INSPE est réduite. Ils doivent approfondir leurs bases mathématiques par un enseignement de professeurs expérimentés de la pédagogie.

### **3.6.-Mesure 6 : réformer la formation des professeurs des collèges et des lycées**

La désaffection pour les mathématiques ne touche pas seulement les élèves. La discipline a vu ses effectifs d'enseignants-chercheurs diminuer drastiquement en quelques années. L'édition 2022 des Assises des mathématiques, organisé à Paris notamment par le Centre national de recherche scientifique (CNRS) fut l'occasion de pousser un énième cri d'alerte en soulignant la baisse de 7 % de leur nombre en huit ans.

Afin de soutenir, voire susciter les vocations, les candidats à la formation professorale doivent pouvoir bénéficier d'une période rémunérée. Cette période, qui serait la seconde moitié des années d'études, engagerait les futurs enseignants à assurer un nombre d'années d'enseignement en-deçà duquel les rémunérations devraient être remboursées.

### **3.7.-Mesure 7 : faire participer la société civile à la définition des programmes**

Au côté du ministre délégué en charge de l'Industrie, Roland Lescure, Pap Ndiaye, ministre de l'Education Nationale, veut être entendu : « il n'y a pas assez de filles dans l'industrie... »<sup>16</sup> Ce constat prend des allures d'incantation lorsqu'il est rapproché de cet autre bilan, certes intermédiaire, du dispositif des « demi-journées avenir », lancées par le gouvernement mais expérimentées par seulement 140 établissements sur les 7 000 collèges du parc français. Il faudra attendre la rentrée 2023 pour connaître le cadre d'une éventuelle généralisation. L'initiative consistant à permettre l'intervention de professionnels dans les classes pour expliquer leur métier, particulièrement ceux des filières mal connues, voire déconsidérées par les élèves, telles que le sont bon nombre de professions techniques et scientifiques, est pourtant prometteuse.

21

### **3.8.- Mesure 8 : rehausser le niveau de prise en charge des formations par apprentissage menant aux métiers de la recherche et de l'innovation technique et technologique**

France Compétences doit appliquer des niveaux de prise en charge financière des formations par apprentissage aux diplômes les plus en tension de vocations et nécessaires aux filières techniques et scientifiques françaises.

### **3.9.- Mesure 9 : communiquer au niveau national sur les applications pratiques des sciences et des technologies dans la vie quotidienne**

Les mathématiques sont plus que jamais indispensables au développement des outils d'un monde de plus en plus numérisé, aux services dématérialisés désormais omniprésents dans le quotidien des citoyens, nécessaires pour résoudre les grands défis auxquels doit faire face la société (maîtrise énergétique, gestion des flux, accompagnement au changement, etc.). Elles sont le soubassement des moindres interactions dans le monde du travail comme dans la vie privée.

<sup>16</sup> 25 novembre 2022, ministère de l'Economie et des Finances.

Pourtant, cette caractéristique des mathématiques est largement méconnue du grand public. Et le potentiel de réussite professionnelle qu'offre la résolution de ces grands enjeux liés à la recherche et à l'innovation technologique est insuffisamment exprimé. Une grande campagne publique d'information mettant en avant l'aventure humaine et l'enrichissement personnel que représentent les sciences et les techniques est indispensable pour redonner du sens aux études mathématiques.

### **3.10.- Mesure 10 : mobiliser les partenaires sociaux en faveur d'un Plan national interprofessionnel soutenant les initiatives des entreprises pour les parcours de formation en sciences et technologies**

Des corpus de formations personnalisés, renforceraient l'attractivité des métiers appuyés sur des connaissances des mathématiques. Ces corpus, élaborés en proximité avec les professionnels des secteurs d'activité concernés et les acteurs de la formation continue, permettraient de dynamiser et valoriser les parcours professionnels. Les partenaires sociaux seraient invités à établir un document paritaire d'incitation doublé d'un engagement gouvernemental à abonder les fonds de formation mobilisés.

Retrouvez l'ensemble des travaux de l'Institut Chiffres & Citoyenneté

sur [www.chiffres-citoyennete.fr](http://www.chiffres-citoyennete.fr)

## Annexe

### WIKIPEDIA FRANÇAIS

Soit  $\mathbf{K}$  un corps commutatif, comme le corps commutatif  $\mathbb{Q}$  des rationnels, celui,  $\mathbb{R}$ , des réels ou celui,  $\mathbb{C}$ , des complexes (on parlera dans ces cas d'espace vectoriel rationnel, réel ou complexe).

Un espace vectoriel sur  $\mathbf{K}$ , ou **K-espace vectoriel**, est un ensemble  $E$ , dont les éléments sont appelés vecteurs, muni de deux lois :

- une loi de composition interne « + » :
- $E^2 \rightarrow E$ , appelée addition ou somme vectorielle,
- une loi de composition externe à gauche « • » :  $\mathbf{K} \times E \rightarrow E$ , appelée multiplication par un scalaire, telles que les propriétés suivantes soient vérifiées.

1.  $(E,+)$  est un groupe abélien, autrement dit la loi « + »

- est commutative
- elle est associative,
- elle admet un élément neutre, pouvant être noté  $0$  ou  $0_E$ , appelé vecteur nul et,
- tout vecteur  $v$  a un opposé, noté  $-v$ .

2. La loi « • » vérifie les propriétés suivantes :

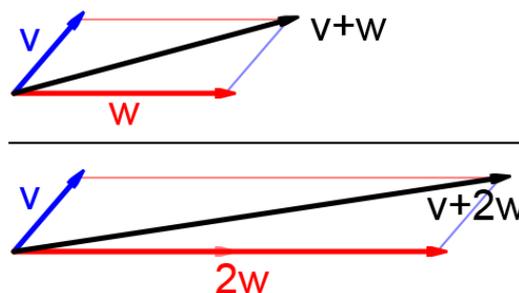
- elle est distributive à gauche par rapport à la loi « + » de  $E$  et à droite par rapport à l'addition du corps  $\mathbf{K}$ ,
- elle vérifie une associativité mixte (par rapport à la multiplication dans  $\mathbf{K}$ ),
- l'élément neutre multiplicatif du corps  $\mathbf{K}$ , noté  $1$ , est neutre à gauche pour •.

### WIKIPEDIA ANGLAIS

Un espace vectoriel (aussi appelé espace linéaire) est une collection d'objets appelés vecteurs, qui peuvent être additionnés et multipliés (« scaled ») par des nombres, appelés scalaires. Les scalaires sont souvent considérés comme des nombres réels, mais il existe aussi des espaces vectoriels avec multiplication scalaire par des nombres complexes, des nombres rationnels, ou généralement n'importe quel champ.

Les opérations d'addition vectorielle et de multiplication scalaire doivent satisfaire à certaines exigences, appelées axiomes, énumérées ci-dessous.

Les vecteurs euclidiens sont un exemple d'espace vectoriel. Ils représentent des quantités physiques telles que des forces: deux forces quelconques (du même type) peuvent être ajoutées pour donner un troisième, et la multiplication d'un vecteur de force par un multiplicateur réel est un autre vecteur de force. Les vecteurs dans les espaces vectoriels ne doivent pas nécessairement être des objets de type flèche comme ils apparaissent sur la figure suivante.



## Nous suivre sur Internet et les réseaux sociaux



[www.chiffres-citoyennete.fr](http://www.chiffres-citoyennete.fr)



[www.linkedin.com/company/institut-chiffres-&-citoyenneté](http://www.linkedin.com/company/institut-chiffres-&-citoyenneté)

24



[www.twitter.com/Institut C C](http://www.twitter.com/Institut_C_C)

