



FONDATION  
L'IA POUR L'ÉCOLE  
INSTITUT DE FRANCE

JUIN 2021

# L'enseignement des mathématiques en France à l'heure de l'IA

Diagnostics, enjeux,  
préconisations









**Sous la direction de Philippe Fleury,**

**Et avec l'aide inestimable de Michel Authier, Inès Belhadj, Fiona Beraud, Alexander Chourreau, Pauline Lavarenne et Agathe Paigneau.**

**Nous remercions également chaleureusement Laurence Gourdon, Sophie Guichard, Amélia Matar, Aurélia Medan ainsi que Sébastien Planchenault pour leur temps accordé pour la réalisation de cet ouvrage, et la qualité de leurs contributions.**

# Les intervenants



## Laurence Gourdon

Laurence Gourdon est docteur en sciences de l'éducation et chef d'établissement d'un lycée parisien. Elle a enseigné pendant 15 ans les biotechnologies en enseignement supérieur. Pendant une année elle a rencontré des scientifiques, informaticiens, mathématiciens, philosophes et enseignants pour penser l'Intelligence Artificielle à l'école. Par ailleurs, elle siège dans différentes instances dans le domaine de l'éducation, notamment au Conseil supérieur de l'éducation, ce qui lui donne une position privilégiée pour observer les évolutions de l'école. Laurence Gourdon est auteur des Cordées de la réussite, les créer et les animer (2018) et de L'École et l'IA, une révolution annoncée (2020) aux éditions Fabert.



## Sébastien Planchenault

Sébastien Planchenault a commencé à travailler comme Assistant d'éducation pour la lutte contre l'élitisme en école primaire pendant 3 ans, puis en raison de son goût pour les mathématiques est devenu professeur de mathématiques, d'abord comme enseignant contractuel puis comme enseignant certifié au sein de l'académie de Versailles. Depuis quelques années, il est formateur d'enseignant en mathématiques mais également dans des champs transversaux comme la motivation, ou encore la différenciation. Depuis 2017, il est responsable du M2 MEFF parcours mathématiques de l'Université d'Evry Val d'Essonne. Très engagé sur les questions de l'enseignement de mathématiques, il s'implique au sein de la Régionale d'Île de France de l'APMEP dès le début de sa carrière, puis devient membre du Comité National de l'APMEP. En juin 2019, Sébastien Planchenault devient président de l'APMEP.



## Sophie Guichard

Sophie Guichard est professeure agrégée de mathématiques, et créatrice du site *Mathenvideo.fr*. Passionnée par la transmission, la communication et la pédagogie, elle porte une attention particulière à la classe inversée en classe avec une approche collaborative. En novembre 2017, elle est décorée par le Ministre de l'Éducation nationale au titre de Chevalière de l'Ordre National du Mérite pour tout son travail fourni sur les questions éducatives.



## Amélia Matar

Geek depuis ses plus tendres années, Amélia Matar a travaillé dans le milieu startup et digital pendant plusieurs années. Responsable digital de l'ONG *Greenpeace* de 2012 à 2016, Amélia a dirigé des campagnes de communication digitale d'ampleur internationale. Directrice marketing de *NUMA* durant ces deux dernières années, elle se passionne pour l'éducation à la naissance de son fils et se forme à la pédagogie Montessori (AMI). En 2017, Amélia Matar crée le projet *COLORI* pour préparer les plus jeunes enfants aux transformations technologiques de notre époque. Près de 500 enfants ont suivi des ateliers *COLORI* dans les écoles ou sur le temps périscolaire. Amélia Matar forme également des enseignants et éducateurs qui souhaitent apporter ces nouveaux sujets dans leur classe.



## Aurélia Medan

Aurélia Medan est professeure des écoles et formatrice, détachée à Réseau *Canopé* en tant que médiatrice des ressources numériques à l'atelier *Canopé* de Tarbes. Elle a un parcours dans l'adaptation scolaire et le numérique. Au sein de Réseau *Canopé*, elle propose des animations, des formations, de la création de ressources à destination des élèves, des enseignants, de la communauté éducative autour de la problématique du numérique éducatif.

# Sommaire



## 10 | Introduction

## 14 | **1<sup>er</sup> chapitre** Constat sur la santé mathématique à l'école

- 16 | La difficile relation des élèves avec les mathématiques
- 23 | Éclaircir le tableau noir de l'enseignement des mathématiques en France
- 28 | Un environnement complexe et démobilisateur

**2<sup>e</sup> chapitre**

# 32

**Les mathématiques  
au service de la maîtrise  
de l'intelligence artificielle**

- 34 | Pourquoi l'enseignement des mathématiques est-il fondamental ?
- 37 | Spécificités de l'enseignement des mathématiques
- 42 | Les liens entre l'intelligence artificielle, le numérique et les mathématiques

**3<sup>e</sup> chapitre**

# 46

**Donner une 2<sup>nd</sup>e chance  
aux mathématiques :  
quelles solutions ?**

- 48 | Le tétraèdre pédagogique augmenté : réflexion, action !
- 52 | Les solutions adoptées en France et à l'étranger
- 56 | 8 recommandations pour une culture mathématique à la hauteur des enjeux présentés par l'intelligence artificielle

# 74

 | **Conclusion**

# Introduction

Disciplina  
mores facit

Les moeurs  
sont le fruit  
de l'éducation.

Sénèque

**P**armi tant d'autres constats, l'année 2020 a cruellement pu attester des lacunes du système scolaire français, qui dégringole dans les classements internationaux. Cela est d'autant plus le cas en ce qui concerne les mathématiques. Pour une grande nation de mathématiciens, parmi lesquels on peut citer aussi bien Blaise Pascal que Henri Poincaré, la France connaît depuis quelques décennies une forte baisse de la qualité de son enseignement. Se dégagent deux tendances à ce sujet : tout d'abord, un manque d'intérêt de plus en plus marqué pour cette discipline chez les jeunes et, ensuite, un recrutement dans les grandes écoles loin de garantir une égalité sociale. On notera à ce sujet que moins de 1% des polytechniciens sont issus de classes sociales défavorisées ces dernières années<sup>1</sup>. Alors, comment faire pour renverser ce processus de dégradation cumulatif et redresser la qualité de l'enseignement des mathématiques ?

À l'ère du tout numérique, la qualité de l'enseignement mathématique représente un enjeu de taille. Investir pour l'éducation de la jeunesse c'est investir pour l'avenir, un avenir dont le modelage sera d'autant plus marqué par cette discipline et, plus globalement, par les sciences dites « dures ».

De fait, le monde se prépare à la révolution digitale, liée notamment au développement et à l'usage de l'intelligence artificielle. Ces changements techniques s'accompagnent de changements sociétaux avec le sentiment trouble et diffus que le développement des algorithmes qui façonneront la société de demain se fait en dehors de nous, nourri par une absence de culture mathématique donnant la part belle au « solutionnisme technologique »<sup>2</sup>. Pour autant, à ce jour, l'intelligence artificielle permet de faciliter la communication, fluidifier le trafic, accélérer les procédures et sauver des vies et autres, sur la base de traitements de données. Souvent présentée comme un outil disruptif dangereux, l'intelligence artificielle

se retrouve déjà dans nombreux aspects de nos vies et présente des avantages certains. Plutôt que de la craindre, il faut développer des voies et moyens de mieux la maîtriser. Or, voilà justement le rôle de l'éducation. Au sein de celle-ci, une juste compréhension de l'intelligence artificielle ne pourra faire abstraction de l'enseignement des mathématiques. Une amélioration de sa qualité est plus que jamais, d'actualité.

S'il est question de développer la technique numérique par le biais de l'apprentissage des mathématiques, il n'en reste pas moins que cette discipline est un vecteur de développement de la pensée humaine, dont on ne saurait se passer au regard des enjeux éthiques présentés par l'intelligence artificielle.

Tournons-nous brièvement vers Olivier Rebol, grand philosophe de l'éducation, selon lequel la première finalité de l'éducation consiste à faciliter « l'épanouissement de l'enfant »<sup>3</sup>. Cet épanouissement suppose 4 types d'apprentissages : « apprendre que », « apprendre à », « étudier », et enfin « apprendre à être ». On comprend alors mieux les devoirs et les responsabilités des enseignants : faire apprendre ne signifie pas faire croire. Plus qu'un métier, l'enseignement est ainsi une véritable vocation qui doit conduire à l'apprentissage tout en développant l'autonomie cognitive.

En cela, les mathématiques ont une place toute particulière dans le processus d'épanouissement de l'enfant et la formation de son esprit critique puisqu'ils visent, en partie, au développement du sens de l'observation et de la rigueur des élèves. Dans le cadre d'entretiens menés par la Fondation, Sophie Guichard, enseignante en mathématiques et créatrice du site *Mathenvidéo*<sup>4</sup>, nous a expliqué sa philosophie : « Les élèves d'aujourd'hui sont beaucoup plus demandeurs de sens qu'il y a 16 ans. Pourquoi faire des maths ? À quoi va me servir ce que j'apprends ? Mais pour moi, il n'y a pas que le

<sup>1</sup> *Le concours de polytechnique favorise-t-il « la reproduction sociale » ?*, Louis Heidsieck, Le Figaro Etudiant, 10 octobre 2018 : <https://etudiant.lefigaro.fr/article/le-concours-de-polytechnique-favorise-t-il-la-reproduction-sociale-8e17ad16-cad7-11e8-896c-7d05c73a49da/>

<sup>2</sup> Idée notamment portée par le chercheur et écrivain américano-biélorusse Evgeny Morozov, qui développa la notion de « solutionnisme technologique » pour expliquer comment chaque problème humain

(politique, social, sociétal) est systématiquement transformé en question technique, puis discuté par les acteurs du numérique privés ou publics, qui proposent enfin des solutions numériques dont le but est de traiter les effets des problèmes sans jamais s'intéresser à leurs causes.

<sup>3</sup> O. Rebol, *La philosophie de l'éducation*, Paris cedex 14, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », 2016.

<sup>4</sup> Lien vers le site : <https://www.mathenvideo.fr>.

sens concret du quotidien. Parfois, le sens que j'ai envie de transmettre peut être le développement de la rigueur. Je souhaite permettre aux élèves de développer leur autonomie cognitive dans l'apprentissage. Leur expliquer 'qu'est-ce qu'apprendre' ou 'comment apprendre', c'est aussi mettre du sens ». Par ailleurs, les mathématiques constituent également un excellent outil pour apprendre aux élèves à raisonner simplement et à aiguïser leur esprit logique. Cela leur permet, à terme, d'affiner la qualité de leur jugement, de développer leur esprit de responsabilité et de cultiver les principes d'économie ou de parcimonie dans le raisonnement.

L'enseignement des mathématiques, mais aussi de l'informatique et de l'intelligence artificielle, fait ainsi des élèves des citoyens capables de distinguer le vrai du faux, et de comprendre la différence entre information, opinion et croyance. La nécessité de cet enseignement apparaît encore plus clairement du fait que le numérique conditionne de plus en plus l'accès aux droits et aux devoirs de nos concitoyens. Il y aura d'ailleurs lieu de développer des solutions intermédiaires pour lutter contre l'illectronisme, transposition de l'illettrisme dans le domaine de l'informatique. Ceci n'est toutefois pas l'objet de ce livre blanc, qui vise la formation initiale en mathématiques en France. Rétablir un niveau minimal de culture mathématique aux jeunes générations donnerait à notre pays l'avantage compétitif largement perdu au fil des décennies passées, comme le montre notre classement international.

Au-delà, former les jeunes élèves aux mathématiques et à l'intelligence artificielle représente un enjeu considérable au regard de notre souveraineté numérique. Comme il l'a été souligné par le rapport Villani<sup>5</sup>, rédigé sous la supervision du mathématicien et député Cédric Villani, le développement des connaissances en intelligence artificielle en France et en Europe représente un moyen de lutter contre

la « colonisation » par les GAFAM<sup>6</sup> : « Si le développement de l'intelligence artificielle est pensé par des acteurs privés hors de nos frontières, la France et l'Europe n'auraient d'autre choix que de prendre le train en marche. Les illustrations sont nombreuses : rien qu'en France, l'accord signé entre Microsoft et l'Éducation nationale sous le précédent quinquennat ne dit finalement pas autre chose ». Dans son ouvrage *L'appétit des géants*, Olivier Ertzscheid a effectivement mis en lumière le fait que, en concentrant toutes nos activités numériques sur quelques plates-formes, nous avons fait naître des acteurs mondiaux qui s'épanouissent hors du contrôle des États et instances internationales classiques<sup>7</sup>. Or, ces algorithmes, nourris par nos échanges, nos relations et nos sociabilités vont finalement classer, organiser et décider pour nous ce qui est, et ce que nous devons voir. Pour garder la main, la France et l'Europe doivent être en mesure de rivaliser avec les géants américains de la tech. C'est notamment pour cela que Thierry Breton a soutenu que l'objectif du plan de relance européen était de faire de l'Europe le continent le plus connecté du monde d'ici à 2030<sup>8</sup>.

Paradoxalement, si la culture mathématique a un rôle à jouer dans la maîtrise de l'intelligence artificielle, cette dernière pourrait être tant un savoir à incorporer dans les apprentissages qu'une des solutions au problème du désintérêt actuel pour la culture mathématique. En effet, la pandémie a marqué un tournant, propulsant la formation scolaire dans l'ère du virtuel et du numérique. Cette période a été le marqueur d'une accélération des évolutions antérieures qui se dessinaient sur l'utilisation de l'informatique et de l'intelligence artificielle pour améliorer la qualité de l'éducation dispensée. Selon Robert Boyer<sup>9</sup>, « l'éducation a connu un bond qualitatif avec la pandémie qui a contraint à utiliser les moyens numériques de façon beaucoup plus massive que par le passé, sans que pour autant ait été trouvé un modèle éducatif adapté à l'ère du numérique »<sup>10</sup>.

<sup>5</sup> Donner un sens à l'intelligence artificielle, pour une stratégie nationale et européenne, 2018. Rapport découlant d'une mission confiée par le premier ministre Édouard Philippe en Septembre 2017.

<sup>6</sup> GAFAM est l'acronyme des géants du web, aussi appelées les « Big Five », Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft.

<sup>7</sup> O. Ertzscheid, *L'appétit des géants : Pouvoir des algorithmes, ambitions des plateformes*, C&F Editions, 2017.

<sup>8</sup> Thierry Breton : « il faut aller très vite sur le numérique », Ingrid Vergara, Chloé Woitier, Enguerand Renault, *Le Figaro*, 2 octobre 2020 : <https://www.lefigaro.fr/conjoncture/thierry-breton-il-faut-aller-tres-vite-sur-le-numerique-20201001>

<sup>9</sup> Robert Boyer, anciennement directeur de recherche au CNRS, économiste au CEPREMAP et directeur d'études à l'EHESS s'est impliqué dès l'origine dans les recherches sur la régulation de la pandémie.

Durant cette période, de nombreux enseignants se sont penchés sur les nouveaux outils du numérique et, pour certains, ont même pu développer des solutions hybrides associant enseignement à distance et en présentiel<sup>10</sup>. Pour aider professeurs et élèves, l'intelligence artificielle s'impose comme moyen d'améliorer l'enseignement des élèves : facilitation du suivi des élèves, adaptation du programme de l'élève en fonction de ses aptitudes et connaissances, repérage des élèves susceptibles de décrocher, etc. Les outils d'intelligence artificielle développés par le secteur grandissant de l'Edtech ont vocation à faciliter l'éducation de tous sans pour autant se substituer aux enseignants. Ces derniers peuvent donc être rassurés du fait que nous ne soyons pas à la veille d'une substitution de l'homme par la machine mais au contraire d'une meilleure complémentarité. Les qualités humaines, telles que la bienveillance et le jugement critique, restent indispensables tant pour le développement social des enfants que dans leur processus d'apprentissage.

Pour que nous soyons en mesure de relever ces défis, il nous semble primordial de faire ruissseler sur l'ensemble des citoyens un minimum de culture mathématique, qui leur permettra de ne pas rester spectateurs, et se saisir de la révolution digitale qui a lieu devant nous. S'interroger sur l'enseignement des mathématiques et sur l'intelligence artificielle requiert de se poser, à tout le moins, trois questions, imbriquées telles les poupées russes :

➡ Tout d'abord, la question de savoir quel est l'objectif de l'enseignement en général, aussi bien appréhendé par l'enseignant que par l'élève. Transmettre la connaissance ? Donner le goût d'apprendre ? Apprendre à lire, écrire et compter ? Apprendre, pour former les mœurs, les humanités ?

➡ Ensuite, il convient de définir quel est le rôle des mathématiques dans l'objectif de remplir cette fonction. Indéniablement, cette discipline a des adhérences avec la philosophie, sachant qu'elle vise à distinguer le vrai du faux, principale caractéristique

de la raison. Elles s'appuient, entre autres, sur une branche particulière, la logique, domaine important de la recherche de la connaissance. Parmi d'autres, il ne faut pas perdre de vue que l'un des objectifs des mathématiques est le développement des habiletés intellectuelles et, notamment, de la capacité à raisonner et à former des concepts.

De manière plus précise, on peut reprendre les quatre finalités que définit Jean-Louis Chancere<sup>12</sup> pour se familiariser avec les mathématiques :

**Un système formel** qui se suffit à lui-même et dont l'élaboration se fait à partir de règles permettant l'élaboration d'un savoir mathématique. Ce corps de savoirs a ceci de particulier qu'il est détaché de la réalité physique.

**Une série d'instruments de travail** permettant de donner une schématisation de la réalité et ouvrant la possibilité d'une action sur le réel, valorisés par les études du PISA<sup>13</sup>.

**Un ensemble de techniques élémentaires** qui permettent de travailler sur des informations numériques ou géométriques.

**Un langage** qui permet de communiquer, de stocker des informations. C'est d'ailleurs ce langage qui inonde les médias de pourcentages, de mesure, de courbes, d'histogrammes, etc.

➡ Finalement, une fois les réponses à ces premières questions établies, il s'agit de déterminer comment devrait être mis en œuvre cet enseignement, et comment l'intelligence artificielle pourrait nous y aider tout en déterminant les objectifs de cette dernière appliquée à l'enseignement des mathématiques.

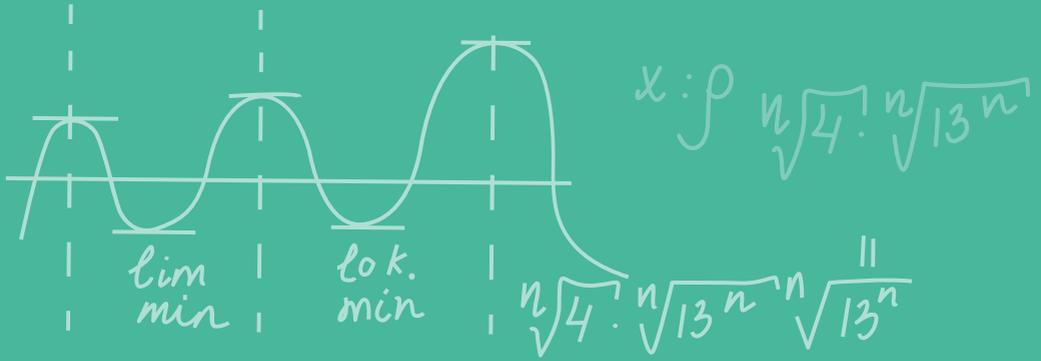
Les réflexions présentées au cours de ces pages analysent ainsi successivement les causes de la dégradation de l'enseignement des mathématiques en France, puis les enjeux de celui-ci à la lumière de la révolution annoncée par l'intelligence artificielle. Enfin, nous tirons profit de certaines expériences tant françaises qu'étrangères afin d'offrir des propositions et éclairer des pistes de réflexions quant à l'avenir de l'enseignement des mathématiques dans notre pays.

<sup>10</sup> Boyer, *Les capitalismes à l'épreuve de la pandémie (2020)*, Éditions La Découverte.

<sup>11</sup> Par exemple, voir : <https://www.mathenvideo.fr>

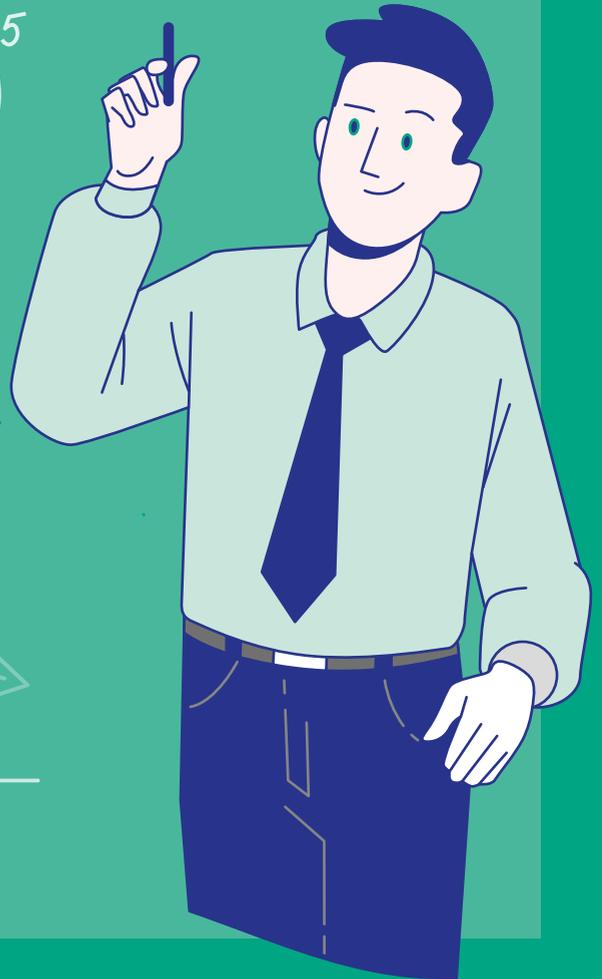
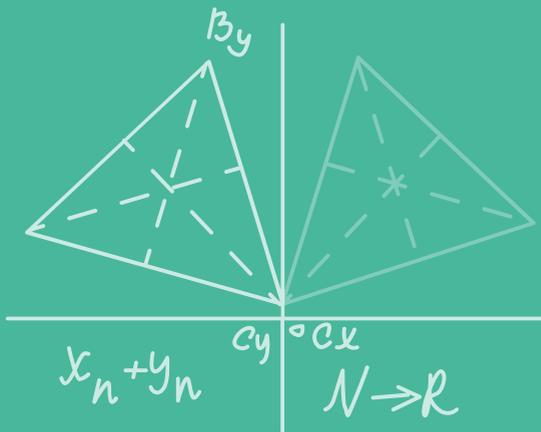
<sup>12</sup> Pédagogue, psychologue, statisticien, ex-directeur de l'École des Hautes Études Pédagogiques de Lausanne (EHPL).

<sup>13</sup> Programme international pour le suivi des acquis des élèves.



$\{x_n\} \subset \mathbb{R}$       $\left(\frac{n^2+n-1}{n^2-2n+3}\right)^5$

$\sqrt[n]{|4^n + \cos 2n|}$   
 $n \geq n_0: (x_n)$



# 1<sup>er</sup> chapitre

# Constat sur la santé mathématique à l'école

et quelques explications

Rappelons d'abord la définition des mathématiques. Le mot dérive du grec et signifie apprendre. Il signifie encore science, connaissance.

C'est la science du savoir.

L'usage du pluriel est un héritage d'Aristote qui regroupe sous ce terme l'arithmétique, la géométrie, l'astronomie... et même la musique ! Les tentatives d'uniformisation sous l'égide de Bourbaki - ce mathématicien imaginaire sous le nom duquel un groupe de mathématiciens francophones a poussé la réflexion afin d'aboutir à une présentation cohérente des mathématiques dans les années 1930 - ont quelque peu remis à l'ordre du jour le singulier que préconise également, de manière plus contemporaine, Cédric Villani.

En outre, une relation particulière est universellement reconnue entre la physique et les mathématiques.

N'est-il pas significatif que le grand mathématicien britannique Roger Penrose vienne d'être distingué par le prix Nobel de physique ?

Ainsi, sciences du concret et sciences de l'abstrait vont de pair. Les mathématiques sont le langage de la physique. Ce langage permet de rendre simples des notions complexes.

Cet outil technique est, au-delà, un art dont la maîtrise procure des satisfactions et des émotions aussi inexprimables que la musique. Mais est-ce vraiment le cas pour les élèves aujourd'hui ? Rien n'est moins sûr.

# La difficile relation des élèves avec les mathématiques

**Afin de construire une réflexion autour de l'enseignement des mathématiques et de la culture scientifique à l'école, il est essentiel de s'intéresser au point de vue des élèves. Cette perspective incontournable devra ensuite être replacée dans le cadre plus large des stratégies pédagogiques et de l'environnement dans lequel la discipline est enseignée. Les tendances actuelles seront présentées.**

## Comment les élèves perçoivent-ils les mathématiques en France ?

On reproche souvent aux mathématiques d'être trop compliquées, de terrifier les élèves, d'être discriminantes envers les éléments les plus fragilisés ou encore contre les filles. Cette discipline réveille les passions des plus ou moins jeunes élèves. Voici quelques témoignages recueillis dans la presse<sup>14</sup> qui peuvent servir à nous éclairer sur le rapport aux mathématiques des élèves qui n'y trouvent pas leur compte.

Pour certains, les cours de mathématiques sont un moment de confusion et de remise en question. Macha, 32 ans, se confie : « Très vite j'ai eu l'impression qu'on essayait de m'apprendre une langue dont je ne connaissais même pas les rudiments. C'est comme si j'avais raté les cours de maths pendant deux ans, moi qui étais pourtant une élève assidue. Le problème, c'est que la prof que j'ai eue en cinquième puis en quatrième avait tendance à se mettre en colère quand on osait dire qu'on n'y comprenait rien. Les maths ont fini par devenir ce genre de pays qui te demande de t'intégrer discrètement tout en refusant de t'aider à apprendre sa langue ». Ces propos reflètent en effet un problème que l'on rencontre souvent dans le rapport à l'échec des élèves et la peur de ne pas réussir à atteindre les exigences. Cela peut mener à l'autocensure et, dans les cas les plus critiques, au décrochage.

Pour d'autres comme Agathe, élève de Terminale Littéraire, c'est une discipline faite de contraintes, inhibitrice de sa créativité. Elle avoue : « J'ai commencé à décrocher totalement en classe de cinquième (...) Je me souviens d'une leçon sur les angles qui m'avait terrifiée. Qu'un rapporteur puisse me servir un jour si je fais du bricolage, pourquoi pas. Mais tout ce vocabulaire, angles alternes-internes, angles supplémentaires, angles correspondants, c'était trop pour moi. Et ces démonstrations pompeuses (...) les maths nous obligeaient à faire ceci et cela dans tel ordre de façon extrêmement militaire ». La liberté d'expression et l'agilité de l'esprit permises par les mathématiques ne sont pas toujours mises en évidence selon l'approche adoptée dans l'enseignement. Si, pour une part des élèves, l'appétence pour certains chapitres vient naturellement, pour d'autres, il y a une abstraction et une rigidité aux mathématiques qui handicapent l'assimilation des notions et leur compréhension. Il est vrai que si les mathématiques sont essentielles à la construction de la pensée (et du monde), elles peuvent à certains égards présenter un aspect « totalitaire ». Elles nécessitent d'apprendre les règles de vocabulaire, les règles de raisonnement. De même que l'apprentissage de la musique nécessite les pénibles efforts d'un apprentissage minimum du solfège et de l'harmonie. Sinon adieu le plaisir ! Cependant ces difficultés ne veulent pas dire que les mathématiques ne sont pas appréciées par la plupart des élèves. En effet, selon le sondage de CSA

<sup>14</sup> Ces professeurs qui ont marqué ma vie, auteur anonyme, Sous notre toit : <https://www.sous-notre-toit.fr/hommage-professeurs>

Research réalisé pour le journal Le Point avec RTL<sup>15</sup> « 61 % des Français ont bien aimé les mathématiques à l'école. Or, si 55 % se disent satisfaits au sujet de l'enseignement de cette matière, ils sont encore plus nombreux à se montrer favorables à une approche plus concrète. En effet, 65 % des Français estiment que cela faciliterait l'apprentissage des mathématiques » Les méthodes et outils pédagogiques déployés par les professeurs de mathématiques afin de remédier à cette abstraction sont nombreux et divers, et tous gagneraient au partage des bonnes pratiques.

En effet, si les affinités avec cette matière seront toujours une variable fluctuante, l'angoisse ou le décrochage qui peuvent y être associés ne relèvent pas nécessairement de préférences individuelles mais plutôt d'expériences éducatives. Le professeur peut avoir un grand impact sur le rapport d'un élève aux mathématiques ce qui en retour impacte la performance. Une personne souhaitant rester anonyme a partagé son expérience. Elle témoigne : « Chose importante à savoir sur moi ; je déteste les mathématiques ! Et j'ai toujours eu des résultats médiocres dans cette matière. Pourtant, cette année-là, ce professeur a illuminé mes cours de maths ! [...] Un jour qu'il nous rendait notre dernière interrogation écrite corrigée, j'ai eu la surprise de voir que j'avais eu un peu plus que la moyenne ! Waouh ! Mais plus que la note, c'est son petit message qui m'a marqué : « Bravo. Te découvrirais-tu des talents de mathématicienne ? ! ». Un message plein de bienveillance, à son image ». Dès lors, le travail sur la confiance en soi des élèves semble être tout aussi important que le travail sur leurs compétences.

En effet, les études PISA dénotent une certaine spécificité française quant au mal être mental des élèves vis-à-vis de l'école. 62<sup>e</sup> sur 65 sur la confiance en soi et l'anxiété scolaire, la France est aussi 63<sup>e</sup> en persévérance, 53<sup>e</sup> en ouverture à la résolution de problèmes et seulement 46 % des élèves pensent que l'intelligence est malléable, ce qui ne peut que

décourager ceux qui se penseraient incorrigiblement faibles académiquement<sup>16</sup>. Dès lors, ne nous étonnons pas qu'en termes de discipline en classe, la France soit 60<sup>e</sup>. En d'autres mots, nous présentons des manquements sur les volets sociaux et comportementaux en termes de capacité d'empathie, de respect de l'autre, de résolution collective des problèmes mais aussi d'estime de soi et de sentiment d'efficacité malgré les difficultés. Ces constats tirés lors du colloque du collège scientifique de l'Éducation nationale sur le professeur du 21<sup>e</sup> siècle, tenu début décembre 2020, sont très alarmants<sup>17</sup>. Toutefois, ce sont surtout les conséquences sur les élèves les plus fragiles et le creusement des inégalités catalysées par ces lacunes qui inquiètent particulièrement les experts.

## L'effondrement du niveau de maths des jeunes français et le creusement des inégalités

Tout le monde s'accorde pour considérer qu'aujourd'hui, l'enseignement des maths en France est en faillite. Sauf évidemment pour la formation des spécialistes de très haut niveau où, pour le moment, la France continue de tenir son rang. Mais cette situation est instable, le nombre de ces spécialistes étant trop faible.

En effet, le cycle des évaluations disciplinaires réalisées sur échantillon (CEDRE) en fin d'école et fin de collège a publié fin septembre 2020 les résultats de son étude sur les mathématiques portant sur les écoliers de CM2 et les collégiens de 3<sup>e</sup>. Conclusion : le niveau en maths baisse. « La baisse est un peu plus rapide à l'école. Mais à l'école comme au collège, la moitié des élèves a maintenant un niveau faible ». Cependant, « ces résultats ne sont pas non plus une surprise. L'enquête internationale TIMSS de 2015 avait mis en évidence le très faible niveau en maths des écoliers français »<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> 65 % des Français favorables à une approche plus concrète des mathématiques, La rédaction numérique de RTL, RTL, 19 octobre 2017 : <https://www.rtl.fr/actu/debats-societe/65-des-francais-juvent-l-enseignement-des-maths-inadapte-selon-notre-sondage-7790579608>

<sup>16</sup> PISA 2012/2015/2018, et l'intervention d'Élise Huillery, professeure d'économie, université Dauphine-PSL (France) lors du Colloque

Scientifique « Quels professeurs au XXI<sup>e</sup> siècle », dans le cadre du Grenelle de l'éducation, 1<sup>er</sup> décembre 2020.

<sup>17</sup> Colloque scientifique « Quels professeurs au XXI<sup>e</sup> siècle ? » organisé le 1<sup>er</sup> décembre 2020 dans le cadre du Grenelle de l'éducation.

<sup>18</sup> Maths : la chute de la maison France, François Jarraud, Cafepedagogique.net, 8 décembre 2020 : <http://www.cafepedagogique.net/lexpresso/Pages/2020/12/08122020Article637430181438022232.aspx>

De plus, les contextes, comme celui du confinement, peuvent avoir un impact important sur le décrochage. La Fondation l'IA pour l'École a relevé que plus de 500 000 élèves - soit 4 % des élèves en France - ont décroché entre les mois de mars et de mai 2020<sup>19</sup>. Pour sa part, l'Éducation nationale a relevé que 5 à 8 % des élèves n'ont plus du tout donné de nouvelles à leurs professeurs depuis le début du premier confinement<sup>20</sup>. Rappelons que les coûts associés au décrochage d'un jeune, cumulés tout au long de sa vie, sont évalués à 230 000 euros par élève. Pour l'État, c'est près de 30 milliards d'euros de dette contractée chaque année. Pour les jeunes concernés, cette situation est source de difficultés sociales et économiques majeures<sup>21</sup>.

Par ailleurs, si le décrochage peut toucher tout le monde, l'origine sociale continue de déterminer le niveau scolaire, et ce particulièrement en mathématiques. « Les disparités de maîtrise sont très marquées selon le profil social de l'établissement. Dans les collèges les plus favorisés socialement, les taux de maîtrise, mesurés par le cumul des modalités « maîtrise satisfaisante » et « très bonne maîtrise », s'élèvent à 92,4 % en français et 82,7 % en mathématiques. L'échelonnement des taux de maîtrise des compétences entre les cinq groupes confirme la corrélation généralement observée entre l'origine sociale et le niveau des acquis des élèves. Dans les établissements les moins favorisés, les taux de maîtrise sont alors respectivement de 70 % et de 49,2 %, pour le français et les mathématiques »<sup>22</sup>. Ce constat est partagé également par l'étude PISA de 2018 qui confirme la particularité française en termes de reproduction sociale des inégalités à l'école. De plus, la forte corrélation entre le milieu socio-économique et la performance est confirmée par le dernier

rapport du CEDRE<sup>23</sup> qui précise également le détail des raisons de la diminution du niveau entre 2014 et 2019. Un autre indicateur de cette tendance est le fait que « la matière est particulièrement appréciée par les catégories socio-professionnelles les plus aisées. Les CSP+<sup>24</sup> la hissent en effet sur la première marche du podium (31 %) ex æquo avec le Français, devant les langues étrangères (29 %) »<sup>25</sup>.

Corroborant ces propos, l'ancien président de l'association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public Bernard Egger affirme dans un entretien que « c'est l'accentuation de la baisse du niveau chez les élèves les plus faibles » qui inquiète le plus<sup>26</sup>. Selon lui, « beaucoup d'élèves arrivent en situation d'échec au collège parce qu'ils n'ont pas eu assez de temps en primaire pour intégrer l'approche intuitive des mathématiques. Dès lors, ils vont avoir beaucoup de mal à franchir le cap de la conceptualisation abordé dans le secondaire. Pour apprendre les maths, il faut non seulement en faire soi-même, mais aussi laisser le temps à l'erreur et au cheminement personnel, et cela le système éducatif ne le permet pas ». Cela rappelle la peur de l'échec que nous évoquions précédemment. Comme le rappelle Laurence Gourdon, docteure en science de l'éducation, interrogée dans le cadre de nos entretiens, « l'erreur est heuristique ». Pour la directrice d'établissement, la transition numérique ne peut qu'encourager cette valeur pédagogique de l'erreur : « Les nouvelles technologies vont faire évoluer le statut de l'erreur en France ».

Cette situation d'inégalité est d'ailleurs aggravée, pour certains, par les pratiques sélectives et compétitives même si, à l'instar de l'enseignement des disciplines sportives, elles peuvent être utiles à certains

<sup>19</sup> Confinement et continuité pédagogique : Ce que la crise sanitaire révèle du potentiel du numérique éducatif, Fondation l'IA pour l'École, 2020 : <https://iapourlecole.fr/livre-blanc-confinement-continue-pedagogique/>.

<sup>20</sup> Les élèves décrocheurs au centre des inquiétudes de l'académie, Gaëlle Fontenit, France Bleu Berry, France Bleu, 8 avril 2020 : <https://www.francebleu.fr/infos/education/les-eleves-decrocheurs-au-centre-des-inquietudes-de-l-academie-1586339204>.

<sup>21</sup> Ce qu'il faut savoir sur le #décrochage scolaire, infographie publiée par le Gouvernement Valls III le 14 novembre 2016 : <https://www.gouvernement.fr/ce-qu-il-faut-savoir-sur-le-decrochage-scolaire>.

<sup>22</sup> 820 000 élèves évalués en début de sixième sur support numérique en 2019, Linda Ben-Ali, Anais Bret, Karine Lambert, et Vincent Poillet, note d'information publiée par le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse,

en avril 2020 : <https://www.education.gouv.fr/media/66405/download>

<sup>23</sup> Cèdre 2008-2014-2019 Mathématiques en fin d'école : des résultats en baisse, Louis-Marie Ninnin et Jean-Marc Pastor, note d'information publiée par le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, en septembre 2020 : <https://www.education.gouv.fr/media/72155/download>.

<sup>24</sup> Catégories socio-professionnelles les plus favorisées.

<sup>25</sup> Les Français et les mathématiques, Sondage CSA Research, réalisé pour Le Point, avec RT, octobre 2017 : <https://www.csa.eu/fr/survey/les-fran%C3%A7ais-et-les-mathematiques>

<sup>26</sup> Bernard Egger « Pour réussir en maths, il faudrait insister sur la notion de plaisir », Paulina Pinto Gomes, La Croix, 4 décembre 2013 : <https://www.la-croix.com/Famille/Education/Bernard-Egger-Pour-reussir-en-maths-il-faudrait-insister-sur-la-notion-de-plaisir-2013-12-04-1070784>.

égards. Comme le mettait en avant la professeure Céline Darnon lors du colloque du collège scientifique de l'Éducation nationale mentionné précédemment, la compétition mal organisée peut mener à un décalage culturel pour les élèves les plus faibles<sup>27</sup>. À cet égard il vaudrait mieux procéder à des compétitions par équipe. Des stéréotypes négatifs et des jugements scolaires sont intériorisés et amplifient la peur d'échouer de sorte qu'elles étouffent leur motivation pour réussir. L'enseignante a entre autres contribué à une étude qui démontre l'inégale pénalisation des élèves les plus modestes par une consigne compétitive<sup>28</sup>. Toutefois, des solutions existent et sont testées en vue de réduire cet écart. Nous pouvons citer, par exemple, des interventions psychosociales ou encore la mise en place de certaines activités qui remplacent la compétition par la coopération, valorisant davantage les compétences des élèves les plus fragiles. L'élève construit largement son savoir en interagissant avec les autres. Dès lors, dans le domaine du savoir et de l'acquisition de connaissances, la co-construction semble être une nouvelle façon plus impliquante et pertinente d'apprendre.

Ainsi, la place des mathématiques comme discipline polémique se maintient et on y retrouve de manière exacerbée certaines failles et difficultés rencontrées plus généralement au sein du système éducatif. Interrogé dans le cadre des entretiens menés pour l'élaboration de cette étude, Sébastien Planchenault, président de l'APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public), résumait parfaitement : « Le point culturel, sur la représentation des mathématiques, a un fort impact. Au niveau de la société, on a une représentation des mathématiques comme quelque chose de très élitiste, qui ne peut pas être étudié en profondeur par n'importe qui. La réforme du lycée a fait énormément de mal par rapport à ça, en laissant sous-entendre que les

mathématiques ne rentrent pas dans la même culture commune de tout citoyen, qu'elle peut s'abstraire et qu'elle n'est pas une nécessité ».

## Les filles, échec et maths ?

Parmi les nombreux paramètres qui peuvent impacter les performances des élèves en mathématiques, nous retrouvons également celui du genre. La disparité que l'on observe dans l'apprentissage des mathématiques entre les filles et les garçons est telle qu'elle fait l'objet d'une mention dans chaque rapport du classement du PISA en 2018, 2015, 2012, et 2009.

Que peut-on dire des filles et des mathématiques ? Force est de constater que celles-ci obtiennent en moyenne de moins bons résultats dans cette discipline que les garçons. L'étude TIMSS (« Trends in Mathematics and Science Study ») de 2019 le démontre bien : le score moyen aux tests de mathématiques pour les garçons de CM1 était de 491, contre 478 pour les filles (avec une moyenne européenne de 541 pour les garçons et 532 pour les filles) - soit un écart de 13 points<sup>29</sup>. Dans le rapport PISA de 2018, l'écart était quant à lui de 6 points<sup>30</sup>.

Outre les différences de performance, la disparité se retrouve également dans l'intérêt que porte les jeunes filles et les jeunes garçons aux mathématiques. Selon l'étude réalisée pour RTL précédemment mentionnée, « il apparaît que cette préférence pour les mathématiques varie surtout selon le sexe. Ainsi, 38 % des hommes préféreraient les maths à l'école - avant l'Histoire-géographie puis le sport -, ce qui en fait la première matière appréciée de la gent masculine, contre 29 % pour les femmes, qui relèguent cette matière à la troisième place derrière le Français et les langues »<sup>31</sup>.

Cette différence d'intérêt se ressent ensuite dans les

<sup>27</sup> Colloque scientifique « Quels professeurs au XXI<sup>e</sup> siècle ? » organisé le 1<sup>er</sup> décembre 2020 dans le cadre du Grenelle de l'éducation.

<sup>28</sup> Reducing the Socio-Economic Status Achievement Gap at University by Promoting Mastery-Oriented Assessment. Annique Smeding, Céline Darnon, Carine Souchal, Marie-Christin Toczek-Capelle, Fabrizio Butera. University of Pennsylvania, août 2013.

<sup>29</sup> Note d'information TIMSS 2019 pour les élèves de CM1, Marc Colmant et Marion Le Cam, publiée par le Ministère de l'Éducation, de la jeunesse

et des sports : <https://www.education.gouv.fr/media/73349/download>

<sup>30</sup> Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) résultats du PISA 2018, rapport de l'OCDE : [https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018\\_CN\\_FRA\\_FRE.pdf](https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_FRA_FRE.pdf)

<sup>31</sup> 65% des Français favorables à une approche plus concrète des mathématiques, La rédaction numérique de RTL, RTL, 19 octobre 2017 : <https://www.rtl.fr/actu/debats-societe/65-des-francais-juvent-l-enseignement-des-maths-inadapte-selon-notre-sondage-7790579608>

choix d'orientations des étudiantes. Si aujourd'hui les filières « scientifiques », « économiques et sociales » et « littéraires » ont disparu des lycées de l'enseignement général, elles ont longtemps été l'observatoire d'inégalités. En 2016, on comptait 81,5 % de filles en filière littéraire, 61,5 % en filière économique et sociale et... 46,2 % en filière scientifique<sup>32</sup>. Les disparités sont d'autant plus flagrantes dans les filières professionnelles : la même année, les classes de Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable ne comptaient que 6,2 % de filles ! Ces inégalités persistent enfin dans l'enseignement supérieur. En 2016 les femmes représentaient 55 % des étudiants, mais restaient minoritaires dans les formations scientifiques. Cette année-là, elles n'étaient que 28,1 % dans les écoles d'ingénieurs, 38,7 % dans les formations scientifiques en université, ou encore 12,1 % en spécialités mécaniques aéronautiques et spatiales<sup>33</sup>. En somme : les filles boudent les mathématiques, et cela se ressent dans le monde professionnel. En France, le CNRS ne compte que 16 % de mathématiciennes<sup>34</sup>.

Ce qui va sans dire ira encore mieux en le disant : les performances inférieures et l'intérêt moindre porté par les femmes aux mathématiques n'est pas lié à un quelconque déterminisme biologique. Ce ne sont ni les chromosomes, ni les hormones, ni les organes génitaux qui poussent les jeunes filles à se désintéresser aux mathématiques, mais plutôt le fruit d'un conditionnement social.

Isabelle Régner, professeure de psychologie sociale à l'Université d'Aix-Marseille et vice-présidente de l'égalité femmes-hommes et lutte contre les discriminations, explique ce décalage entre les performances en mathématiques des filles et des garçons par l'influence des stéréotypes du genre<sup>35</sup>. Qui croit réellement, toutes générations confondues, que « les filles

sont bonnes en lecture et mauvaises en maths, et que les garçons sont, eux, bons en maths et mauvais en lecture » ? Ce simple constat, qui correspond à un stéréotype - un ensemble de croyances partagées autour d'attributs propres à un individu selon son appartenance à un groupe social spécifique - est bien plus dommageable qu'il n'en a l'air.

Claude Steele, professeur en sciences cognitives à l'Université de Stanford met en avant une théorie<sup>36</sup>. Selon lui, on observe une baisse de performance des individus dans une situation où ils craignent de confirmer, à leurs propres yeux ou aux yeux d'autrui, un stéréotype négatif ciblant leur groupe d'appartenance. En d'autres termes, lorsqu'une jeune fille passe un test de mathématiques, elle risque, en échouant, de confirmer le stéréotype qui préconise que les filles sont mauvaises dans cette discipline. Ce stress engendre une succession de pensées et d'émotions négatives, impactant directement la mémoire de travail et les performances dans les tâches cognitives. Ce processus se répercute directement dans ses performances au test et, n'arrivant pas à se prouver elle-même sur ses capacités en mathématiques, elle perdra progressivement son intérêt pour cette discipline. Ce phénomène a été prouvé en 2007 par Isabelle Régner et Pascal Huguet autour d'une expérience de mise en situation. Les chercheurs ont proposé à des élèves de classe de 5<sup>e</sup> (filles et garçons confondus) de passer un examen, consistant à reproduire la figure complexe de Rey-Osterrieth<sup>37</sup>. Mais sur les 460 élèves volontaires, la moitié s'est vu présenter l'exercice comme un test de dessin (une discipline réputée populaire chez les filles), et l'autre moitié comme un test de géométrie (donc des mathématiques, où les garçons sont supposément meilleurs). Les résultats ont parlé d'eux-mêmes : lorsqu'il s'agissait d'un « exercice de dessin », les filles ont obtenu de bien meilleurs résul-

<sup>32</sup> Filles et garçons, sur le chemin de l'égalité à l'enseignement supérieur dans l'académie de Nantes, 2017, Rapport du Pays de la Loire : <http://m.onisep.fr/Media/Regions/Pays-de-la-Loire/Fichiers/Egalite-filles-garcons/Sur-les-chemins-de-l-egalite-PDL-2017>

<sup>33</sup> Les filles stagnent dans les filières scientifiques de l'enseignement supérieur, Valérie Schneider, L'observatoire des inégalités, 8 mars 2018 : [https://www.inegalites.fr/Les-filles-stagnent-dans-les-filières-scientifiques-de-l-enseignement-supérieur?id\\_theme=22#nb2](https://www.inegalites.fr/Les-filles-stagnent-dans-les-filières-scientifiques-de-l-enseignement-supérieur?id_theme=22#nb2).

<sup>34</sup> Non, les filles ne sont pas moins douées en maths que les garçons, Charlotte Arce, TerraFemina, 17 juillet 2014 : <https://www.terrafemina.com/>

[societe/societe/articles/46436-non-les-filles-ne-sont-pas-moins-douees-en-maths-que-les-garcons.html](https://www.societe/societe/articles/46436-non-les-filles-ne-sont-pas-moins-douees-en-maths-que-les-garcons.html)

<sup>35</sup> Femmes et sciences : La menace des stéréotypes sociaux de genre, Catherine Thinus-Blanc, Pascal Huguet, Isabelle Régner : <https://www.sfnnet.fr/uploads/tinymce/UMC13-CatherineThinusBlanc.pdf>

<sup>36</sup> Stereotype Threat and Women's Math Performance, Steven J. Spencer, Claude M. Steele, Diane M. Quinn, Janvier 1999.

<sup>37</sup> Test neuropsychologique permettant d'étudier le degré du développement cognitif chez les enfants.

tats que leur camarades masculins (25,39/44 contre 22,51/44) et, dans l'exercice de « géométrie », les filles ont peiné à obtenir la moyenne, contrairement aux garçons (20,9/44 contre 23,72/44). Ainsi, une simple formulation peut affecter les performances des élèves, qu'ils soient filles ou garçons.

Mais, si les filles sont les cibles et les victimes de ce stéréotype, les porteurs de ces préjugés ont également leur part de responsabilité dans les moindres performances en mathématiques de la gent féminine. On remarque chez les professeurs, les encadrants et les parents d'élèves un véritable décalage dans l'attention portée aux performances et aux progrès en mathématiques, selon que l'élève est un garçon ou une fille. Dans les bulletins des élèves en classes préparatoires, les professeurs évoquent beaucoup moins souvent l'idée d'un "potentiel" à exploiter pour les filles<sup>38</sup>. Du côté des parents, une étude de Pamela Frome et Jacquelynnne Eccles démontre que les mères ont une forte tendance à surestimer les habilités de leurs garçons à la fin de la primaire<sup>39</sup>. Or, comment encourager les filles dans leurs aptitudes mathématiques, lorsque leur propre entourage n'y croit pas lui-même ? Pour citer le sociologue Christian Baudelot, dans la préface d'un ouvrage analysant l'univers des classes préparatoires scientifiques : « Les filles se censurent parce qu'elles sont censurées »<sup>40</sup>.

**Lorsqu'une jeune fille passe un test de mathématiques, elle risque, en échouant, de confirmer le stéréotype qui préconise que les filles sont mauvaises dans cette discipline.**



<sup>38</sup> Pourquoi les filles manquent dans les sciences, Les Echos, 28 septembre 2016 : <https://start.lesechos.fr/apprendre/universites-ecoles/pourquoi-les-filles-manquent-dans-les-sciences-1178958>.

<sup>39</sup> Parents' Influence on Children's Achievement-Related Perceptions, Pamela M. Frome et Jacquelynnne S. Eccles, 1998.

<sup>40</sup> Filles + Sciences = Une Equation Insoluble ? Enquête sur les classes préparatoires scientifiques, Marianne Blanchard, Sophie Orange et Arnaud Pierrel, Editions Rue d'Ulm - Presses de l'ENS, 2016.

## La disparition du plaisir pour les mathématiques au collège

Demeure alors une autre question, fondamentale. La motivation des enfants pour l'apprentissage des mathématiques semble disparaître pour la plupart aux environs de 11 et 12 ans. Comment expliquer ce phénomène ? Pourquoi un tel échec des collèves pour donner goût aux mathématiques ? Et pourquoi cette situation se dégrade ? L'étude CEDRE de 2014 a évalué les performances mathématiques de 8000 collégiens français en fin de 3<sup>e</sup>, en les comparant à ceux d'une étude de 2008<sup>41</sup>. Le nombre de bons élèves a chuté tandis que l'effectif des groupes de faible niveau a augmenté de près d'un tiers. Plusieurs explications peuvent être avancées :

**La perte de sens** ; les préadolescents ne sont pas fondamentalement "contre" les mathématiques mais ils ne comprennent pas à quoi elles vont leur servir. Ils n'arrivent pas à donner du sens à cette discipline et, donc, ont implicitement des difficultés à l'apprendre. La situation est d'ailleurs la même avec l'enseignement du Français. Les jeunes ont adopté un langage qui génère avec lequel ils communiquent via les réseaux sociaux. Ce langage n'est pas soluble dans le français et sa grammaire, compliquant dès lors la compréhension de textes un peu compliqués qui leur sont adressés et qui véhiculent la culture.

**Les inégalités sociales** et leur aggravation ces dernières années, abordées précédemment.

**L'histoire psycho-évolutive** des adolescents. L'adolescence s'accompagne de changements cognitifs, affectifs et sociaux. L'adolescent développe sa capacité à penser de façon abstraite et à raisonner de manière plus efficace et scientifique. Cette évolution devrait le conduire à conserver sa motivation. Or, ce n'est pas le cas.

*Les relations des préadolescents avec leurs pairs prennent une grande importance. C'est une période de recherche d'identité et de choix d'orientation.*

En fait, les relations des préadolescents avec leurs pairs prennent une grande importance, accompagnant une indépendance accrue vis-à-vis des parents. Pour nombre d'entre eux, le monde, indépendamment de la dimension humaine (amour, amitié, conflit, copinage, haine, sexualité...), désintéresse de plus en plus. C'est une période de recherche d'identité et de choix d'orientation. La pensée des adolescents est moins liée aux événements concrets que celle des enfants. Mais elle peut rester immature à certains égards ; l'égoïsme persiste souvent.

A ce sujet, Joël-Yves Le Bigot propose 3 étapes pour décrire l'adolescence<sup>42</sup>. De 11 à 14 ans c'est « l'Ado-naissance », qui se vit au collège de la 6<sup>e</sup> à la 3<sup>e</sup>. Puis vient « l'Adolescence » à proprement parler, de 15 à 17 ans. Celle-ci se vit au lycée dans les établissements généraux, technologiques ou professionnels (de la seconde à la terminale). Enfin, de 18 à 25 ans, nous entrerions selon l'auteur dans « l'Adolescence ». Cette phase correspond à l'entrée dans l'enseignement supérieur et ce jusqu'à l'entrée dans le monde professionnel.

Ainsi, l'adolescence peut se penser sur un temps long. Dans l'esprit d'un enseignement adaptatif, et avec l'appui de l'intelligence artificielle, il devrait être possible de mieux adapter l'apprentissage notamment aux deux premières étapes décrites ci-avant. L'apprentissage des mathématiques en sera favorisé.

<sup>41</sup> CEDRE 2014 : Mathématiques en fin d'école primaire : les élèves qui arrivent au collège ont des niveaux très hétérogènes, Note d'information n18 de l'Éducation nationale, mai 2015.

<sup>42</sup> Vive les 11 - 25, Catherine Lott-Vernet, Isabelle Porton-Deterne, Joël-Yves Le Bigot, 2004 (Editions Eyrolles).

# Éclaircir le tableau noir de l'enseignement des mathématiques en France

## La question de la performance des élèves

Nous avons établi que les élèves français, dans leur ensemble, réalisent de faibles performances en mathématiques. Face à ce constat, plusieurs interprétations peuvent être mises en avant.

Pour Franck Salles, professeur de mathématiques et chargé d'études sur l'évaluation à la DEPP (Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance), « si les jeunes français ne sont pas bons en maths, c'est la faute des programmes scolaires, qui mettent davantage l'accent sur les connaissances que sur les compétences. Les élèves ont les savoirs mais ne savent pas s'en servir ». Du savoir, mais pas assez de savoir-faire donc. « Les piètres performances de nos élèves s'expliquent par des difficultés à raisonner, à élaborer une stratégie et des étapes intermédiaires »<sup>43</sup>. Problématique, dans une discipline où la résolution de problèmes reste l'exercice de prédilection.

Si nos élèves ont du mal à se hausser à la tête du classement du PISA, c'est également car les jeunes français sont fâchés avec les mathématiques, ou plutôt, qu'ils ne se sentent pas à leur avantage dans cette discipline. Nous évoquions plus tôt le manque de confiance en soi observé chez les élèves du système scolaire français. Selon les résultats du PISA 2012, « en France, un élève sur deux pense qu'il a de bonnes notes en mathématiques (50 % contre 58 %, en moyenne, dans les pays de l'OCDE) ; moins d'un élève sur deux pense qu'il apprend vite en mathématiques (47 % contre 51 %, en moyenne, dans

les pays de l'OCDE) ; un élève sur trois pense que les mathématiques sont une des matières où il est le plus fort (34 % contre 38 %, en moyenne, dans les pays de l'OCDE) ; et moins d'un élève sur trois pense qu'en cours de mathématiques, il comprend même les exercices les plus difficiles (31 % contre 37 %, en moyenne, dans les pays de l'OCDE) »<sup>44</sup>. Conséquences ? Ce manque d'assurance se transforme en véritable frein à la résolution de problèmes. Sans avoir à devenir téméraire, si l'élève n'a pas confiance en ses acquis et ses capacités de résolution, il en deviendra par défaut plus prudent tout en étant moins en contrôle de son travail. Franck Salles confirme : « Les élèves français s'engagent plus difficilement que leurs camarades des autres pays dans des tâches complexes nécessitant une prise de risque, de l'initiative, un pas ou deux vers l'inconnu ».

Au contenu du programme scolaire s'ajoute le caractère cumulatif, parfois dit « spiralaire » des mathématiques. Si les bases ne sont pas consolidées, difficile pour les élèves de s'épanouir lorsque le programme se spécialise. Clément Amzallag, professeur de maths et fondateur du site *Mathenvidéo* rappelle : « Il est très rare que les élèves qui manquent un cours le rattrapent. Or, dans une matière comme les mathématiques, les lacunes d'aujourd'hui enfantent les difficultés d'apprentissage de demain »<sup>45</sup>. Le fameux crantage mémoriel<sup>46</sup>, abordé par Jean-Michel Blanquer, ministre de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse au cours d'une interview pour *CNews*, pourrait être un vecteur primordial dans l'analyse des performances des élèves français en mathé-

<sup>43</sup> Pourquoi les jeunes Français sont-ils fâchés avec les maths ? Virginie Bertereau, Anton Kunin, *L'Étudiant*, 25 juin 2015 : <https://www.letudiant.fr/lycee/pourquoi-les-jeunes-francais-sont-ils-faches-avec-les-maths-timss-pisa.html>.

<sup>44</sup> Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA), Résultats du PISA 2012, rapport de l'OCDE : <https://www.oecd.org/france/PISA-2012-results-france.pdf>.

<sup>45</sup> Pourquoi les jeunes Français sont-ils fâchés avec les maths ? Virginie Bertereau, Anton Kunin, *L'Étudiant*, 25 juin 2015 : <https://www.letudiant.fr/lycee/pourquoi-les-jeunes-francais-sont-ils-faches-avec-les-maths-timss-pisa.html>.

<sup>46</sup> Interview de Jean-Michel Blanquer, ministre de l'Éducation nationale et de la Jeunesse à *CNews* le 20 mars 2019, sur le niveau général des études et le dédoublement des classes dans le primaire : <https://www.vie-publique.fr/discours/270718-jean-michel-blanquer-20032019-niveau-des-etudes-dedoublement-classes>.

matiques. Or, difficile de repérer lorsqu'un élève n'a pas réussi à acquérir les fondamentaux nécessaires à son progrès. Au cours de sa scolarité, un élève se verra enseigner les mathématiques par plus d'une dizaine d'enseignants et de professeurs, avec une rotation annuelle. Malgré les moyens mis à disposition, difficile d'assurer un suivi assidu et de s'assurer que l'élève ne décroche pas. Par ailleurs, avec 25 à 40 élèves par classe ainsi qu'un programme à suivre, il reste compliqué pour l'enseignant d'assurer un suivi personnalisé. Franck Salles ajoute : « Le désir des professeurs de finir le programme à tout prix, sans tenir compte du parcours individuel des élèves dans leur apprentissage, ne permet pas à chacun de progresser »<sup>47</sup>.

## Pédagogie et enseignement des mathématiques

Arnaud, enseignant de mathématiques en lycée dans l'académie de Versailles passionné par les mathématiques, insiste lui sur l'aspect pédagogique : « Dans le secondaire, nos problématiques sont très pédagogiques. Vraiment liées à de l'humain, et c'est ce qui me motive le plus. Comment faire comprendre des notions de calcul. Comment faire progresser sur le raisonnement hypothético-déductif. Comment présenter/animer/faire vivre des notions scientifiques pour que les élèves les maîtrisent. Et c'est cette proximité avec les apprenants qui offre une source infinie de satisfactions. J'aime les mathématiques. J'ai la chance d'enseigner une matière dont les élèves perçoivent facilement l'utilité »<sup>48</sup>. Toutefois, cet argument « d'utilité » des mathématiques déplaît à d'autres comme Benoît, professeur dans un lycée du Loiret, qui « refuse qu'on évoque les maths en termes d'utilité ou de non-utilité (...) Il s'agit avant tout de muscler sa logique et d'acquérir une culture scientifique »<sup>49</sup>. Et cela passe par la pédagogie et les méthodes d'enseignement appropriées.

C'est ce défi de « faire vivre » les mathématiques et de créer le lien avec cette culture, en suscitant l'intérêt des élèves qui est difficile. Néanmoins, la pédagogie évolue et le professeur lui-même réinvente ses méthodes et transmet sa passion.

C'est le cas de Pierrette, enseignante de mathématiques en collège dans l'académie de La Réunion qui avoue : « Au quotidien, ce qui me plaît, c'est la joie d'un élève de 6<sup>e</sup> qui arrive à faire sa division tout seul. D'un autre en 5<sup>e</sup>, qui a du mal à faire ses exercices, et qui grâce à la classe inversée, y parvient. Par ailleurs, la co-animation lors d'*EPI*<sup>50</sup> est aussi l'occasion de les voir impliqués et très investis dans leur travail. En classe, le temps passe très rapidement. Le travail n'est jamais le même : je ne connais pas la routine ! ». Elle rappelle cependant que si « être enseignante, c'est avoir beaucoup de vacances, du temps libre, c'est aussi beaucoup de temps de recherche et de préparation des cours. Ces préparations (création des vidéos pour le cours, des feuilles d'exercices, mise à jour du site internet, etc.) sont toujours faites dans le but d'intéresser les élèves »<sup>51</sup>. Or, c'est justement cet intérêt qui est de plus en plus difficile à obtenir. En France, 71 % des élèves disent s'ennuyer au collège et 50 % ne font rien d'autre que de prendre des notes dictées par leurs professeurs<sup>52</sup>. Si autrefois l'ennui poussait vers le savoir, aujourd'hui c'est le savoir qui ennuie, ce qui rend le rôle de la créativité chez l'enseignant d'autant plus important.

Le public et les conditions de travail diffèrent évidemment aussi selon l'établissement et la zone dans laquelle il se trouve. Cela peut présenter un défi plus grand pour certains, mais d'autres y voient une grande source d'épanouissement. Comme l'affirme Sébastien, « Enseignant en zone d'éducation prioritaire depuis 17 ans, même si le quotidien n'est pas toujours facile, les élèves sont plus facilement impressionnés par la beauté des mathématiques. Et pouvoir ainsi remotiver des élèves en décrochage est une grande

<sup>47</sup> Pourquoi les jeunes Français sont-ils fâchés avec les maths ? Virginie Bertereau, Anton Kunin, L'Étudiant, 25 juin 2015 : <https://www.letudiant.fr/lycee/pourquoi-les-jeunes-francais-sont-ils-faches-avec-les-maths-timss-pisa.html>

<sup>48</sup> Prof de Maths : « J'enseigne une matière dont les élèves perçoivent vite l'utilité », Hanane Lynn, vousnousils.fr, 2 mars 2018 : <https://www.vousnousils.fr/2018/03/02/prof-de-maths-enseigne-une-matiere-dont-les-eleves-perceivent-vite-lutilite-612627>

<sup>49</sup> Ibid.

<sup>50</sup> Enseignement public et informatique.

<sup>51</sup> Ibid.

<sup>52</sup> « L'ennui à l'école touche tout le monde », Caroline Brizard, L'Obs, 27 août 2015 : <https://www.nouvelobs.com/societe/20150827.OBS4834/-ennui-a-l-ecole-touche-tout-le-monde.html>

source de plaisir »<sup>53</sup>. C'est une vision partagée par Nicolas, enseignant de mathématiques en collège dans l'académie de Créteil selon lequel « travailler dans le « 9-3 » (avec sa diversité sociale qui en fait sa richesse au quotidien) depuis 2002 est important pour moi, je m'y sens réellement utile et à ma place. Il y a maintenant quelques années, il m'a été proposé de devenir formateur. (...) Ainsi, que ce soit auprès d'élèves ou de collègues rien n'est plus appréciable que de voir, entendre ou comprendre que j'ai pu les aider à apprécier davantage les mathématiques ! »<sup>54</sup>.

## Facteurs externes freinant le processus

Une conférence de presse récente de l'OCDE présentait très justement l'impact des évolutions du monde contemporain sur l'éducation : « Avec la mondialisation, les systèmes pédagogiques des différents pays se comparent et s'affrontent, dans des classements plus ou moins pertinents, mais parlants. Si la France dévisse dans les évaluations internationales, c'est aussi parce que son modèle pédagogique n'est plus adapté. À l'heure des tablettes et du savoir à portée de tous, les maîtres mots ne sont plus passivité, immobilité, soumission, mais transversalité, interactivité, implication, responsabilisation »<sup>55</sup>. Dans plusieurs pays, l'éducation fait sa révolution. Il est important, pour nous également, de s'approprier le renouveau de sorte à maintenir un rang compétitif, tout en gardant l'essence de la promesse républicaine et les valeurs de l'Éducation nationale.

Il faut maintenir un certain niveau d'intérêt tout au long du processus d'enseignement et, pour cela, tenir compte du parcours individuel des élèves dont le progrès dans l'apprentissage doit être l'objectif principal, et non simplement celui de clore le programme. En effet, il est révélateur d'entendre des adolescents découragés, revenir épanouis vers leurs parents - dont le rôle est par ailleurs essentiel - et dire « nous

avons un super prof, j'ai enfin compris les maths ». C'est un processus adaptatif.

À cet égard, le système de notation doit plutôt viser ce qui est appris et non l'exacte conformité au programme. « Il y a eu un glissement dans cette notion d'évaluation en France », explique Laurence Gourdon. « L'évaluation en France est devenue exclusivement sommative, c'est-à-dire qui est chiffrée. Or l'évaluation doit être avant tout formative : à partir de l'erreur de l'élève, il doit y avoir un accompagnement et une formation ». Par exemple, combien d'élèves surdoués ont vu leur note abaissée parce qu'ils n'avaient pas appliqué la méthode du programme mais celle d'un programme plus avancé ? De telles pratiques sont également des facteurs de décrochage pour les surdoués.

## Leçons apprises de la crise

Dans le secteur public comme dans les institutions catholiques, la crise du COVID-19 a engendré des difficultés semblables. Comme le souligne M<sup>gr</sup> Vincenzo : « La plupart des écoles et des universités ont admirablement utilisé les outils numériques. Mais il est évident qu'aujourd'hui, on ne peut plus continuer ainsi. À travers ces outils, on peut donner des informations. Mais informer n'est pas éduquer »<sup>56</sup>. En effet, ces outils ne vont pas remplacer l'école mais simplement nous inviter à repenser le contenu et les méthodes d'enseignement dès lors que le savoir statique est accessible. M<sup>gr</sup> Vincenzo ne manque pas de rappeler que « Les enseignants n'avaient pas été préparés à une telle bascule numérique. Chez les jeunes, certains n'ont pas pu avoir accès aux cours car leur famille n'avait pas les moyens informatiques nécessaires. Ce qui fait que nous avons assisté à un effondrement. À la pandémie sanitaire s'est ajoutée une pandémie intellectuelle et éducative. La situation est dramatique. Selon l'Unicef, 10 millions de personnes n'ont plus aucun contact avec des éducateurs »<sup>57</sup>.

<sup>53</sup> Prof de Maths : « J'enseigne une matière dont les élèves perçoivent vite l'utilité », Hanane Lynn, vousnousils.fr, 2 mars 2018 : <https://www.vousnousils.fr/2018/03/02/prof-de-maths-jenseigne-une-matiere-dont-les-eleves-percoivent-vite-lutilite-612627>.

<sup>54</sup> Ibid.

<sup>55</sup> L'éducation est essentielle pour bâtir une société plus résiliente, Conférence de presse de l'OCDE, 8 septembre 2020.

<sup>56</sup> « Dans certains pays, les institutions catholiques sont à genoux », Loup Besmond de Senneville, La Croix, 15 octobre 2020 : <https://www.la-croix.com/Religion/certains-pays-institutions-catholiques-sont-genoux-2020-10-15-1201119579>.

<sup>57</sup> Ibid.

Ce contact reste très cher aux élèves et aux enseignants, comme nous avons pu le constater dans les témoignages présentés précédemment. Cette crise a permis de prendre conscience que, si les outils de visioconférence peuvent être très utiles, ils ne peuvent en aucun cas se substituer au contact direct avec l'enseignant.

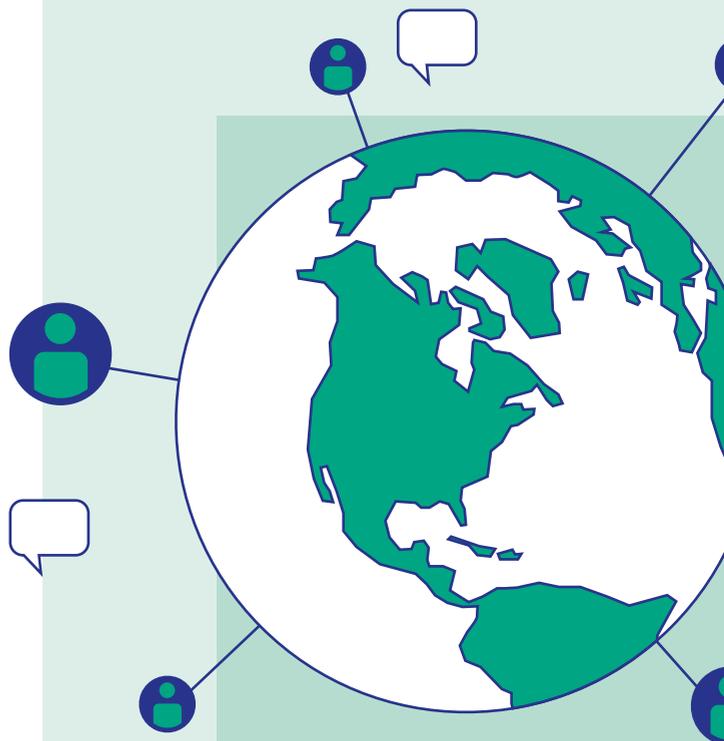
Comme évoqué dans le livre blanc de la Fondation portant sur les effets du confinement sur l'utilisation du numérique éducatif<sup>58</sup>, plusieurs acteurs se sont penchés sur des solutions qui permettraient d'atténuer les effets de la crise sanitaire sur l'enseignement. Parmi les initiatives, on trouve le réseau pédagogique et collaboratif des enseignants du primaire, accessible par le portail « Léa »<sup>59</sup>, sur lequel une multitude de suggestions pour animer la classe dans tous les niveaux, traditionnels ou informatisés, est proposée. Le lecteur pourra aussi s'inspirer des cours gratuits de la *Khan Académie* en ce qui concerne les mathématiques<sup>60</sup>. Par ailleurs, le réseau *Canopé* fournit une panoplie d'idées pour renouveler la pédagogie. Parmi les méthodes, celle de la classe inversée est de plus en plus invoquée par les enseignants.

Ainsi des solutions existent ; encore faut-il les appliquer. Et c'est là que le bât blesse ! Si la crise sanitaire et le confinement ont pu pousser un grand nombre de professeurs à innover au niveau de leurs méthodes d'enseignement, pour Sophie Guichard, la rentrée de septembre 2020 a remis les compteurs à zéro : « J'ai l'impression que dans l'enseignement général reste cette idée d'enseignement traditionnel. Même si le confinement a apporté quelque chose, il me reste un ressenti de statu quo en septembre 2020, lors du retour en présentiel : beaucoup ont repris comme avant. Tant qu'il n'y a pas de nécessité vitale qui pousse à aller de l'avant, nous restons sur nos acquis. C'est dur de bouger ! ».

<sup>58</sup> Confinement et continuité pédagogique : Ce que la crise sanitaire révèle du potentiel du numérique éducatif, Fondation l'IA pour l'Ecole, 2020 : <https://iapourlecole.fr/livre-blanc-confinement-continuite-pedagogique/>

<sup>59</sup> <https://lea.fr>.

<sup>60</sup> <https://fr.khanacademy.org/>.



// À travers ces outils numériques, on peut donner des informations. Mais informer n'est pas éduquer. //



# Un environnement complexe et démobilisateur

## Le déclin de la vérité

Finalement, l'environnement est particulièrement démobilisateur. Le niveau en mathématiques actuel est préoccupant car, sans que nous nous en rendions compte, le paradigme de la science glisse des faits vers des opinions. Cette tendance a été accélérée par les réseaux sociaux, alimentant la confusion entre science et recherche. Afin de départir le vrai du faux, il ne faudrait pas se retrouver dans une situation où l'ignorance est une condition pour intervenir sur ces plateformes et « faire le buzz ».

Selon le rapport Villani-Torossian, « dans toutes les sciences, l'argumentation à base d'opinion n'a strictement aucun intérêt (qui oserait dire mon opinion c'est que  $2+2=4$ , ce serait aussi ridicule que de dire moi la mienne c'est que  $2+2=22$ !!!!). Tout le monde comprend qu'il ne s'agit pas d'opinion mais de vérité. C'est la raison pour laquelle il faut sauver ce petit monde des mathématiques, il nous apprend que le vrai n'est pas une affaire d'opinion mais la résultante d'enquêtes qui établissent des preuves. Pour cela il faut observer, tester, comparer, raisonner, douter, et conclure, toutes actions qui servent dans toutes les disciplines »<sup>61</sup>. Et cela doit évidemment passer par l'école, dans la mesure où « dans l'éducation, les mathématiques doivent être le terrain de jeu, d'entraînement, d'exercice à cet art du raisonnement dont toute la société a infiniment besoin »<sup>62</sup>. À ce moment, est-il question de convaincre tout le monde d'aimer et de faire des mathématiques ? Notre propos n'est pas là. Il s'agit simplement de savoir adopter un raisonnement critique, et savoir justifier ce que l'on avance comme étant une vérité, sans mettre en avant une opinion.

<sup>61</sup> 21 Mesures pour l'enseignement des mathématiques, Cédric Villani, rapport découlant d'une mission sur les mathématiques, confiée par Jean-Michel Blanquer, Ministre de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 12 février 2018 : <https://www.education.gouv.fr/media/11072/download>.

<sup>62</sup> Ibid.

## Le départ prématuré des élites

Dans un article du 4 octobre 2020, Alain Trannyo s'interroge sur les raisons pour lesquelles la France voit ses cerveaux quitter le pays. « Les raisons sont multiples : bureaucratisation excessive avec un mille-feuille institutionnel qui n'a fait que s'épaissir au cours des années, budget de l'agence nationale de la recherche (ANR) anémique, absence de fondation privée d'envergure, possibilité de promotion raréfiée, salaire plafonné à 5000 € hors prime pour le sommet de la carrière »<sup>63</sup>.

Il souligne encore que cet exode est grave « parce que les étudiants français en thèse se diront qu'il vaut mieux faire ses recherches à Hambourg plutôt qu'à Paris pour bénéficier des conseils de l'expertise du nouveau récipiendaire du Nobel. Un effet boule de neige va s'enclencher avec des conséquences ensuite sur la localisation des laboratoires de recherche privée »<sup>64</sup>. Il constate enfin que les rémunérations de la fine pointe de la recherche, des membres du collège de France, des personnes distinguées par des prix internationaux ou autres ne sont pas concurrentielles. Il propose donc de « doubler leur rémunération pour un coût de 10 millions d'euros, une goutte d'eau »<sup>65</sup>.

Si multiples sont les raisons qui poussent les cerveaux français les plus brillants à fuir vers l'étranger, leur valorisation sur le plan matériel mais aussi - et surtout ! - sur le plan de la reconnaissance et de l'amélioration des conditions de travail ne pourraient qu'aider à les convaincre de rester. La santé mathématique française dans son ensemble en sortirait largement favorisée.

<sup>63</sup> Opinion : Nobel français ou Nobel en France ?, Les Echos, 13 octobre 2020 : <https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/opinion-nobel-francais-ou-nobel-en-france-1255154>

<sup>64</sup> Ibid.

<sup>65</sup> Ibid.

**Dans l'éducation,  
les mathématiques  
doivent être le  
terrain de jeu,  
d'entraînement,  
d'exercice à cet art  
du raisonnement  
dont toute la société  
a infiniment besoin.**

## La remise en cause de la place de l'évaluation, un sujet polémique en France

En dépit de son caractère polémique, l'évaluation est appliquée à chaque discipline et constitue une pratique incontournable aujourd'hui. Les résultats d'un élève à ses évaluations représentent une mesure souvent très importante aux yeux de ses parents. Dès lors, la responsabilité du professeur dans la conception d'un mécanisme d'évaluation efficace et pertinent est d'autant plus grande. Dans son ouvrage *L'évaluation à l'école*<sup>66</sup>, Charles Hadji introduit le sujet de la sorte : « En raison de la place qu'elle a prise dans les activités d'enseignement, et de l'importance accordée à ses résultats par les parents d'élèves, tous les enseignants sont confrontés à la question de savoir comment la mettre en œuvre d'une façon intelligente, c'est-à-dire à la fois efficace et utile ».

S'il y a souvent une peur de l'échec, il s'agit de faire de l'évaluation non plus une mesure de la réussite mais une mesure de l'apprentissage. On semble oublier le - très juste - proverbe chinois : « soit on réussit, soit on apprend ! ». Ainsi, l'évaluation devrait mieux prendre en compte les connaissances des élèves. Un système hybride pondérant les notes et la capacité des enfants à franchir les obstacles du raisonnement mathématique constituerait un progrès considérable.

Par ailleurs, le numérique et l'intelligence artificielle peuvent améliorer et dédramatiser le système de notation, en particulier par le biais de l'automatisation de l'évaluation. Très courantes aux États-Unis, les évaluations automatiques sont notamment utilisées pour les examens d'entrée aux universités après le lycée, mais aussi pour les concours d'entrée dans les programmes de masters ou doctorats. En mathématiques, ce sont généralement des QCM qui sont utilisés, ou bien des réponses ouvertes où l'élève doit noter sa réponse. Ce système de notation est pratique pour de nombreuses raisons. En

premier lieu, tout le monde passe le même examen qui est noté sans préjugé ou favoritisme. Ensuite, l'examen lui-même est très fiable. De plus, la vitesse avec laquelle les résultats sont donnés est telle que le candidat peut recevoir ses résultats le jour même. Enfin, la confusion entre le jugement et le constat disparaît. La machine constate la performance, alors que le professeur juge l'élève. Or, pour de nombreux élèves - et surtout à l'adolescence - cela peut entraîner une source de confusion entre l'affectif et le pédagogique.

Ce système a toutefois des limites. En effet, il n'est pas possible d'évaluer l'imagination et l'inventivité des étudiants, parce qu'ils doivent répondre aux questions en moins de deux minutes. Les problèmes posés dans ce cadre ne sont pas des problèmes qui nécessitent un raisonnement raffiné. Cela ouvre naturellement la porte à des stratégies de l'étudiant pour réussir le test. C'est un système adapté à l'examen mais pas plus ! Des recherches sont en cours pour rendre les tests plus inclusifs et évaluer l'imagination des candidats, comme des tests adaptatifs informatisés par exemple.

Il y a également le souci de l'impact psychologique destructeur que ces examens peuvent avoir sur les étudiants, comme observé le printemps dernier aux États-Unis avec la pétition initiée contre l'usage de Proctor Exam, l'un des logiciels de surveillance utilisés lors des examens<sup>67</sup>. Interrogée dans le cadre de nos entretiens, Aurélia Médan du Réseau *Canopé* précise aussi l'impact d'une individualisation trop importante des enseignements et de son rapport ambigu avec l'évaluation : « La problématique de l'évaluation est qu'il est nécessaire de bien fixer les objectifs de celle-ci pour être sûr d'évaluer une compétence qui a été travaillée, décortiquée et pour lesquels les élèves ont toutes les cartes en main pour réussir. Et afin de rendre l'évaluation équitable, il est nécessaire, en se basant sur l'accessibilité universelle des apprentissages de proposer des évaluations accessibles à tous et au cas par cas ;

<sup>66</sup> *L'évaluation à l'école, pour la réussite de tous les élèves - Cycles 1,2 et 3*, Charles Hadji, 2018 (Ed. Nathan).

<sup>67</sup> *Télé-surveillance à l'université : quand la crise du Covid est prétexte à l'extension de procédés intrusifs*, Lena Ben, LVSL, 6 juin 2020 : <https://lvsl.fr/telesurveillance-a-luniversite-quand-la-crise-du-covid-est-pretexte-a-lextension-de-procedes-intrusifs>

si un besoin de compensation est nécessaire, alors on individualisera l'évaluation. Ainsi, on aide l'élève à percevoir l'évaluation non pas comme une sanction mais comme un outil de son apprentissage ».

Plusieurs constats ont pu être établis en faveur d'un besoin de repenser l'enseignement actuel des mathématiques. Mais quels en sont réellement les enjeux ? Nous explorerons dans la prochaine partie les différentes dimensions de l'enseignement des mathématiques, touchant non seulement à l'avenir des générations d'écoliers actuelles, mais aussi à celui de notre économie et de notre vie quotidienne, et ce plus particulièrement à travers le prisme de l'intelligence artificielle.





## *2<sup>e</sup> chapitre*

# Les mathématiques au service de la maîtrise de l'intelligence artificielle



# Pourquoi l'enseignement des mathématiques est-il fondamental ?

## Une société de plus en plus technique

Les équipements et les savoirs grâce auxquels nous vivons dans notre monde si complexe sont devenus incompréhensibles pour une grande partie de la population. Prenons l'exemple d'un des outils les plus utilisés par l'homme moderne : le téléphone portable. Calculatrice, appareil photo, boîte aux lettres, lecteur de musique, chéquier, liseuse, dictionnaire ou encore arcade de jeu : le smartphone, et ses très nombreuses fonctions, est arrivé dans nos vies en l'espace de quelques années, et est rapidement devenu indispensable. Véritable couteau-suisse technologique, il serait difficile pour nombre d'entre nous d'imaginer aujourd'hui une vie sans nos précieux téléphones. Pourtant, sommes-nous réellement capables d'expliquer le fonctionnement et le processus de fabrication de ces bijoux de technologie ? De l'extraction des terres rares à la métallurgie des métaux lourds, en passant par la chimie organique pour la fabrication du plastique des coques, la microélectronique des puces, la nanotechnologie des connexions, l'électrodynamique quantique des écrans, la théorie du signal, ou encore les réseaux de communication et, enfin, l'intelligence artificielle : difficile de comprendre intégralement le fonctionnement d'un smartphone. Il est fort probable qu'aucune personne sur Terre ne soit capable d'expliquer spontanément les secrets de fabrication de nos téléphones. Malgré cela, n'importe qui est capable de les utiliser.

Platon imposait à ses disciples que « nul n'entre ici s'il n'est géomètre ». Les lois du monde sont mathématiques : les proportions expliquent la loi des leviers, de l'hydrostatique, mais aussi du dessin. Celui ou celle qui maîtrise les mathématiques obtiendrait-il le pouvoir de maîtriser le monde ? Cela n'est pas si certain. Après tout, nous construisions des bâtisses bien avant la loi des leviers, les marins naviguaient

mille ans avant les lois de l'hydrostatique, les musées nous prouvent que nous dessinions avant de devenir géomètres, et nous sommes tous capables d'utiliser un téléphone portable.

Il ne s'agit plus aujourd'hui d'être le « maître de la nature », mais d'apprendre à vivre, à se concerter, et à négocier avec la nature. Nous devons aujourd'hui nous considérer comme un simple maillon de cette si petite atmosphère, sur cette si petite planète au sein de ce si petit système solaire de cette insignifiante Galaxie. Si insignifiants, comment croire, dès lors, que la voie idéale vers la connaissance nécessaire doit commencer pour tout et pour tous par les « Mathématiques » ?

## Des mathématiques réellement utiles

Les mathématiques n'en sont pas pour autant vides de sens. Au contraire, de leur apprentissage découle un certain nombre de principes sous-jacents qui dépassent la simple connaissance mathématique acquise.

Elles sont utiles sur le plan de la vérité, tout d'abord. Les mathématiques se basent sur des axiomes (du Grec ancien :  $\alpha\chi\iota\omega\mu\alpha$  / *axioma*, une proposition non démontrée, utilisée comme fondement d'un raisonnement ou d'une théorie mathématique), des règles d'association (logique) et des concepts abstraits (nombres, figures, relations...) que personne ne songerait à remettre en question. En d'autres termes, les mathématiques sont fondées sur la notion de vérité. Ainsi, c'est au travers de cette discipline que l'on apprend à justifier rationnellement la vérité. C'est en cours de mathématiques que l'élève apprendra en premier lieu la démonstration, l'action de présenter, par l'usage de la logique, la vérité d'une proposition. Concédons, l'intelligence et la réussite scolaire

peuvent être mesurées par le biais de bien d'autres compétences. Les capacités d'observation, d'analyse, de synthèse et de développement, de réflexion, d'initiative, de réactivité, de créativité ou encore de prise de décision, tant manuelles qu'intellectuelles restent parmi les indicateurs les plus pertinents pour évaluer le niveau d'un élève. Au-delà des cours de mathématiques, les pratiques artistiques, notamment musicales, et la pratique des jeux (des plus anciens aux plus récents, aussi bien intellectuels que physiques et quelles que soient les civilisations) restent un champ d'exercice et d'épanouissement de nombreuses qualités et compétences cruciales. Alors pourquoi insister sur l'apprentissage des mathématiques et de la douloureuse épreuve de la démonstration ?

Rappelons-nous l'année 2016, année où le Royaume-Uni a voté, à la surprise de tous, son retrait de l'Union Européenne. C'est aussi au terme de cette année que le dictionnaire d'Oxford a élu « post-truth era » comme mot de l'année. Or, cette ère de post-vérité contribue de plus en plus à mettre les « vérités mathématiques » au placard. Les faits objectifs sont remis en cause, on leur préfère l'émotion et les opinions personnelles. Complotisme, « fake news », fanatisme... Ces dérives de notre époque ne seraient-elles pas la preuve que nous avons perdu notre capacité de raisonner, d'analyser et de potentiellement démentir le raisonnement d'autrui ? Aurions-nous perdu notre sens de la raison, et notre sens de la démonstration ou, au moins, de l'argumentation ?

Par ailleurs, nous parlions précédemment de la créativité comme manière d'évaluer le niveau d'un élève. Les mathématiques peuvent également être utiles sur ce plan-là ! Pour ceux qui ont pris goût aux mathématiques, le monde se révèle une réserve infinie d'activités et d'interprétations. Ils se trouvent alors dans une situation où presque tous les objets du monde sont susceptibles de devenir un espace de jeu. Les échecs, le jeu de go, les dames, le bridge ne sont que des faibles exemple tant la réalité qu'ils singent repose sur des règles étriquées et immuables. Cette

liberté infinie, qui permet de se saisir d'un objet du monde (physique, social, naturel, esthétique...) et de jouer, de manipuler, de transformer la représentation abstraite qu'il s'en donne, fait du mathématicien un interprète, un virtuose, un créateur de la discipline qu'il pratique. En cela, il est un artiste de très haut niveau. Est-ce un hasard si le nombre de mathématiciens en France<sup>68</sup>, environ 4000, est comparable à celui des musiciens d'orchestre ?

Les mathématiciens nous offrent les outils qui nous permettent de comprendre, transformer, maîtriser, enrichir le monde. Les nombres, les courbes, les schémas, les tableaux : nombreuses sont les ressources nous venant des mathématiques qui nous permettent de mieux comprendre le monde qui nous entoure. Un élève souhaitant maîtriser le dessin ne doit-il pas, en parallèle, maîtriser les angles, les perspectives, les proportions ?

Les mathématiques sont encore utiles en ce qui concerne l'efficacité. Rendre abstraits les objets du réel, les réduire à des concepts mathématiques numériques (masse, force, intensité, statistiques, aléa...) ou géométriques (espaces, variétés, figures...), les associer les uns aux autres à l'aide de formules (équations, inéquations, lois statistiques, probabilités...) ou de structures (groupes, corps, espaces, topologies...), les mathématiques permettent une exploration du réel en se débarrassant de la plupart de ses contraintes (pesanteur, diversité, instabilité, complexité...). En rationalisant les systèmes techniques, biologiques, économiques, climatiques et sociaux, les mathématiques permettent d'anticiper leur évolution, de simuler leur fonctionnement, d'optimiser leur efficacité, et de décider de leur utilité.

Cette capacité à utiliser les mathématiques est aujourd'hui largement prise en charge par l'informatique et, par extension, par l'intelligence artificielle. Qu'il est loin le temps de la règle à calcul, de l'intégration d'équations différentielles, des représentations à l'aide de la géométrie descriptive ! Entre d'abord la découverte, l'invention et l'élaboration de théories,

<sup>68</sup> Les Mathématiques en France, Alain Connes, 2004 : [http://www2.cnrs.fr/sites/communiqu/fichier/mathematiques\\_en\\_france.pdf](http://www2.cnrs.fr/sites/communiqu/fichier/mathematiques_en_france.pdf)

de méthodes et d'abstractions faites par quelques milliers de mathématiciens et, ensuite, leurs applications par des centaines de milliers de scientifiques, d'ingénieurs, de techniciens, une fracture désormais humainement définitive dans la culture mathématique a eu lieu. Seuls de puissants outils, en attendant les ordinateurs quantiques, permettent de rendre exploitables les théories les plus sophistiquées pour obtenir des résultats plus concrets.

En somme, les mathématiques ont une utilité certaine. Pourtant, la question demeure : leur incontestable efficacité doit-elle en faire pour autant le passage obligé de toute réussite ? C'est ce que semblent croire de nombreux parents - à tort ?

## Éloge de la relativisation de l'enseignement des mathématiques

Que l'on regrette de ne plus être contraints de faire de la musique sans pouvoir l'écouter, ou jouir des arts qu'en les pratiquant comme c'était encore le cas il y a plus d'un siècle ; c'est un fait. Mais il ne viendrait à l'idée de personne d'imposer à tous des pratiques artistiques approfondies au prétexte de l'égalité de traitement ou d'une universelle utilité.

Aucun parent n'est effrayé de constater que leur enfant ne sera pas un artiste ou un sportif de haut niveau. Alors pourquoi leur faire croire que c'est une catastrophe de ne pas être « bon en maths » ? Aucun enseignant, décideur, moraliste n'est indigné que la plupart des enfants ne soient ni peintres, ni musiciens, ni danseurs, ni footballeurs professionnels. Dès lors pourquoi être unanimement consternés par le classement PISA, quand la France domine en pourcentage le nombre des médailles Field ou Abel ?

C'est une illusion de croire que beaucoup de « petits mathématiciens » dans les écoles feront beaucoup de « grands mathématiciens » dans le monde des mathématiques. Les multitudes et la loi des grands nombres sont faiblement productrices d'excellence. En la matière, la culture et la qualité de l'environnement valent infiniment plus. Le bien-être de partager et le plaisir de créer, la satisfaction de se savoir reconnu et l'excitation d'être admiré, créent une émulation et une concentration sources de toutes les inventions.

Cette peur qui domine les enfants, les parents, les enseignants, les chefs d'établissement voire les responsables politiques et les inspecteurs, tous désireux de bien faire et navrés devant les piètres résultats, doit disparaître. C'est la cause principale du désintérêt, de la démotivation et des blocages rédhitoires. Il faut donc trouver une solution qui, tout en renforçant notre excellence, dédramatise l'importance de cet enseignement sans bouleverser le système ni attribuer des responsabilités (les enfants sont paresseux, les enseignants mal formés, les parents obsédés, les responsables inconséquents, les inspecteurs terrifiants...). Si une telle voie est possible, elle devra faire en sorte :

**Que les passionnés des mathématiques** puissent, dès le plus jeune âge, bénéficier du temps et de l'environnement indispensables à l'épanouissement de leur passion

**Que ceux qui sont attirés par les sciences « dures »** aussi bien que « douces » connaissent suffisamment de mathématiques pour savoir pourquoi et comment se servir des instruments et concepts scientifiques, ainsi que d'être capables d'en interpréter les résultats

**Et que le rapport de tous aux mathématiques** reste de l'ordre du plaisir, à l'instar de la musique, de la peinture, du théâtre, du cinéma, des jeux en tout genre dont on peut jouir sans être obligé d'y exceller ou tout simplement de les pratiquer.

# Spécificités de l'enseignement des mathématiques

**Tournons-nous alors vers l'enseignement des mathématiques à proprement parler. Celui-ci a des spécificités propres, qui vont bien au-delà des seuls acquis du programme. Ce qui importe, avant toute autre recommandation ultérieure, est de redonner goût à l'enseignement des mathématiques et, à l'heure d'un nouveau paradigme numérique, pourquoi pas par l'intelligence artificielle.**

## Objectifs premiers de l'enseignement

Avant une éventuelle spécialisation lors des études supérieures, l'objectif principal de l'enseignement des mathématiques est d'inculquer une culture minimale de base, utile à tout individu. Le tronc commun de la lecture, de l'écriture et du calcul, complété par quelques rudiments de géométrie, de physique et d'algèbre doit faciliter la maîtrise du raisonnement, de l'abstraction et de la preuve. Ces connaissances sont indispensables pour le citoyen ordinaire. C'est aussi le minimum de culture mathématique pour celui qui veut s'orienter vers la littérature d'un côté, ou bien la formation technique de l'autre. Il est, en effet, difficile d'imaginer un artisan qui ne sache pas compter.

Prenons l'abstraction, composante fondamentale de notre cerveau. Les mathématiques sont l'outil le plus approprié pour développer cette disposition naturelle indispensable de l'esprit humain au fur et à mesure de son développement. Cette discipline s'est développée précisément à partir de concepts concernant les nombres, les formes (la géométrie) et les mesures. Ces concepts sont imbriqués au point qu'ils ont fondé les mathématiques dont les objets d'étude sont des problèmes abstraits. Les mathématiques se sont ainsi développées parce que l'être humain a pu acquérir cette capacité d'abstraction. Aussi ne nous méprenons pas sur le sens de cette implication. L'esprit abstrait n'est pas un préalable aux mathématiques, c'est l'inverse. Et c'est pourquoi son

enseignement est fondamental. Très concrètement, la manipulation des réglettes de Cuisenaire<sup>69</sup> dès la fin de la maternelle va permettre aux très jeunes enfants d'acquérir le concept de longueur. Dans nos entretiens, Aurélia Médan expliquait que la manipulation est indissociable d'une bonne compréhension des notions et de la réussite des élèves, « Plus ils grandissent et moins ils manipulent et testent. Cela est aussi important pour donner du sens ».

La notion de doute est également centrale dans l'enseignement des mathématiques. Initiée par Descartes, qui en a fait une méthode scientifique, cette composante de la philosophie prouve l'existence de notre liberté. Elle permet également de tempérer la vision d'une vérité scientifique « pure ». Son apprentissage permet ainsi de prendre du recul par rapport aux idéologies. Dès lors, le juste apprentissage des mathématiques n'est pas celui qui se focalise simplement sur les nombres, ou un ensemble de règles ; il permet plutôt au citoyen éclairé une inculcation de principes généraux, applicables à tout champ de la vie humaine.

Il permet plus encore d'échapper à ce que l'on appelle le « syndrome de la planète des singes ». Ce processus fait référence à la fameuse nouvelle d'anticipation *La planète des singes* de Pierre Boulle<sup>70</sup>, laquelle décrit la prise de pouvoir des singes à force d'observer les humains se dissocier de la nature et délaisser leur activité critique au profit des logiques techniques et de leur appareillage technologique. Ainsi,

<sup>69</sup> Les réglettes de Cuisenaire ? Rencontre exclusive ! Article du blog Plaisir des Nombres : <https://plaisir-des-nombres.com/presentation-reglettes/>.

<sup>70</sup> P. Boulle, *La planète des singes*, Éditions Julliard, 1963.

ce terme désigne la croyance selon laquelle notre société sera totalement guidée par l'intelligence artificielle et peuplée de robots animés. Avec un juste enseignement des mathématiques, il s'agit alors de comprendre les avancées technologiques et ne pas y voir des outils d'abrutissement et d'asservissement de l'être humain, qui deviendrait simple utilisateur, à la machine connectée. Un citoyen est quelqu'un qui jouit de droits pleins et entiers, alors que l'utilisateur est quelqu'un à qui l'on attribue, temporairement, un certain nombre de permissions, « d'autorisations ». Sans préserver cet équilibre, on se risque à créer un humain machiniste, esclave du numérique.

Les mathématiques doivent également permettre de transmettre une certaine simplicité. Evariste Gallois, déclencheur des mathématiques modernes, mort à 21 ans dans un duel galant, disait qu'il fallait « faire du raisonnement une seconde mémoire ». Il est vrai qu'une chose profondément comprise n'est pas oubliée. Il a cherché à faire simple. La simplicité est par ailleurs l'une des conditions de la beauté en mathématiques. Ce principe du raisonnement philosophique a été formulé par Guillaume d'Ockham, moine anglais préfigurateur de la science moderne.

Parce qu'il ne faut pas ajouter de la complexité à un monde devenu déjà très complexe, les mathématiques sont un moyen privilégié d'y parvenir, même si la complexité est consubstantielle à la nature de la vie, dans sa fragilité, sa délicatesse et son mystère.

Ce caractère simplificateur des mathématiques passe, entre autres, par l'administration de la preuve « CQFD »<sup>71</sup>. En termes d'arithmétique et d'algèbre, c'est ce qui se dit de la vérification d'une opération de calcul. Cette vérification passe par l'opération opposée, qui consiste à introduire le résultat trouvé dans l'énoncé pour en vérifier l'exactitude. À noter par ailleurs que, si le terme de « preuve » est parfois employé comme synonyme de « démonstration », la démonstration n'est en réalité qu'une partie de la preuve. Ainsi, tout comme pour l'idée du doute, cette rigueur méthodique autour de la preuve dépasse le seul cadre des mathématiques. Dans tous les

domaines professionnels - pensons au journaliste par exemple, qui a obligation de sérieusement vérifier ses sources -, cet aspect mathématique est central.

Enfin, la question de l'erreur dans les mathématiques est critique, et pédagogiquement cruciale. Dans un excellent article paru en 2001, Guy Brousseau souligne l'importance de l'erreur<sup>72</sup>. Tant dans l'enseignement que dans la vie de tous les jours, l'erreur est principalement considérée comme négative, un sujet d'échec. Pourtant, c'est grâce à l'erreur qu'on apprend, et que l'on enseigne. L'erreur, ou plutôt son aversion, est malheureusement l'un des piliers du credo éducatif ! Or, Guy Brousseau constate : « Dans toutes les théories modernes de la construction des connaissances, théories psychologiques ou épistémologiques, de Poincaré à Skinner et à Piaget et à Bachelard, et sous des formes diverses, le rôle de l'erreur dans l'adaptation, et donc dans l'apprentissage a été signalé comme fondamental : le jeu des essais et des erreurs conduit à une adaptation empirique aux conditions et assure l'acquisition, aussi bien des comportements pour Skinner que des théories scientifiques pour H. Poincaré »<sup>73</sup>.

*En d'autres termes, l'erreur ne doit pas être combattue à tout prix. Au contraire, elle devrait être valorisée dans les mathématiques car elle est justement la condition d'une pleine réflexion, d'une expérimentation fructueuse. L'erreur est, en quelque sorte, heuristique.*

<sup>72</sup> Les erreurs des élèves en mathématiques : Étude dans le cadre de la théorie des situations didactiques, Guy Brousseau, 2001, IREM de Grenoble, Université Joseph Fourier Grenoble 1.

<sup>73</sup> Ibid.

<sup>71</sup> Ce qu'il fallait démontrer.

Là encore, l'enjeu autour de l'enseignement des mathématiques dépasse le seul cadre de ses programmes, parfois trop rigides. Il va bien au-delà.

## Les freins à ces objectifs

Les objectifs ambitieux de l'enseignement des mathématiques ne sont toutefois, aujourd'hui, guère remplis. Divers freins l'en empêchent, et concernent simultanément enseignants, élèves, et parents.

Le professeur de mathématiques occupe une place pivot dans l'enseignement de cette matière. Or, on a laissé se dévaloriser la profession, sans voir que la qualité des formations reçues était un facteur essentiel de notre compétitivité<sup>74</sup>. La formation de l'enseignant e mathématiques est, pour commencer, loin d'être en adéquation avec les impératifs requis. Celle-ci est axée sur la discipline au double sens du terme : contrôle de la matière et contrôle des élèves. Il est rarement question de témoignage de pratiques concrètes avec des jeunes. Quand il s'agit de pédagogie, il est encore trop souvent question d'assimilation de savoirs (didactique, psychologie...) et trop peu de mise en pratique (camps de vacances, colonies de vacances, stages en classe, activités périscolaires, AVS<sup>75</sup>...). Outre les formations initiales du corps enseignant, se pose également la question de la formation continue. Pour Sophie Guichard, elle-même professeure en mathématiques, « comme nos élèves, et la société, sont bougeants et grandissants, cela nécessite en tant que professeure d'être confrontée à une actualisation et réactualisation perpétuelle ». La créatrice de *Mathenvidéo* renchérit sur les différentes pédagogies proposées aux professeurs, et futurs professeurs : « On manque de diversité dans le type de formation ou d'approche pédagogique qu'on propose aux instituteurs ou aux professeurs du secondaire. On reste sur des voies très traditionnelles, mettant par exemple à l'écart les méthodes Montessori ou les techniques d'apprentissage Singapouriennes. En restant sur des voies uniques, on perd en qualité et en ouverture

dans la réflexion du professeur face à son métier et sa façon d'instruire ».

Les filières classiques de formation des enseignants - école normale, école normale supérieure, facultés - ne fournissent plus assez d'enseignants pour occuper les postes disponibles. Les élèves de classes préparatoires de Math Sup et de Math Spé ne choisissent plus en assez grand nombre la voie de l'enseignement. Les académies sont donc conduites à utiliser des expédients. Elles recrutent des contractuels qui sont en fait des anciens élèves de ces classes préparatoires qui n'ont pas réussi les examens. Ils ne sont pas forcément de mauvais enseignants ; il reste néanmoins qu'en moyenne, ils ne sont pas du même niveau. Se pose également la question des formateurs de ces enseignants. C'est un véritable problème de société qu'il faut résoudre d'urgence. Un slogan s'est répandu au moment du 1<sup>er</sup> choc pétrolier : « la France n'a pas de pétrole, mais elle a des idées ». Or, si la ressource principale de notre pays est supposément notre intelligence, il faut l'exploiter, et ainsi remettre complètement à plat tout le cursus de nos chers enseignants, car le système actuel a fait preuve de son inefficacité.

Dans un article pour *Europe 1* en novembre 2016, Sylviane Schwer, professeure des universités et directrice de l'Institut de Recherches en Enseignement des Mathématiques (IREM) de Paris-Nord, se désole : « Plus de 80 % des enseignants de primaire n'ont pas fait d'études en mathématiques. Leur formation n'est pas suffisante. La plupart d'entre eux viennent de licence de sciences de l'éducation, de linguistiques, d'histoire-géographie. Et le peu d'étudiants de filières scientifiques sont formés en biologie. [...] Les professeurs des écoles n'ont pas forcément de difficultés en mathématiques mais n'ont pas forcément d'intérêt ». Avant de terminer : « Or si on ne se donne pas les moyens d'avoir de bons professeurs, alors on ne peut pas s'attendre à grand-chose. Aussi, la solution du problème tient en un mot : motivation »<sup>76</sup>.

<sup>74</sup> *Opinion | bonne ou mauvaise dette : cette distinction est un leurre*, Anton Brender, Les Échos, 8 septembre 2020 : <https://www.lesechos.fr/dees-debats/cercle/opinion-bonne-ou-mauvaise-dette-cette-distinction-est-un-leurre-1240239>

<sup>75</sup> *Auxiliaire de vie scolaire*.

<sup>76</sup> *Les écoliers français mauvais en maths, c'est quoi le problème ?* Clémence Olivier, Europe 1, 29 novembre 2016 : <https://www.europe1.fr/societe/les-petits-francais-et-les-maths-cest-quoi-le-probleme-2914418>

Or c'est justement cette question de motivation qui est de plus en plus problématique aujourd'hui. Des forces centrifuges poussent les profils mathématiciens à s'éloigner de l'enseignement. Ces forces sont de deux types différents. Les premières, que nous qualifierons « d'attractives », sont liées au contexte économique et social. Pour celui qui aime les mathématiques, les salaires et la valorisation sociale seront bien meilleurs dans une grosse entreprise « de la tech » que comme enseignant. Les deuxièmes sont, à l'inverse, « répulsives ». Alors qu'un bon professeur de mathématiques est généralement enthousiaste, imaginatif, et stimulant, il est principalement jugé sur la production de cours, d'exercices et de devoirs. La course au respect du programme dans les délais impartis, facteur de stress, en dégoûte souvent plus d'un. Lorsque l'on combine le tout à des classes souvent difficiles en début de carrière, l'attractivité de la profession est difficile à assurer d'autant plus qu'aucun parcours de compagnonnage des jeunes enseignants n'est organisé.

Le deuxième frein concerne les élèves. Comme nous avons observé, les objectifs de l'enseignement des mathématiques dépassent largement le seul cadre du programme. Odette Bassis, docteure en sciences de l'éducation et présidente du *Groupe français d'éducation nouvelle* (GFEN), confirme : « Il faut créer les conditions pour que les élèves se posent des questions face à une situation, qu'ils puissent créer leur propre raisonnement »<sup>77</sup>. Toutefois, la docteure déplore le fait qu'« aujourd'hui, les enfants apprennent séparément chaque figure géométrique avec leurs particularités », avec autant de leçons cloisonnées. Dans le même article, le mathématicien Michael Launay résume : « Si l'on apprend des choses par cœur sans en connaître le sens forcément cela pose des problèmes. Car le but des mathématiques c'est de comprendre des choses »<sup>78</sup>.

<sup>77</sup> Ibid.

<sup>78</sup> Ibid.

<sup>79</sup> Blanquer présente son plan d'aide aux parents d'élèves en difficulté, la rédaction de LCI, LCI, 15 octobre 2018 : <https://www.lci.fr/societe/ecole-education-nationale/jean-michel-blanquer-presente-son-plan-d-aide-aux-parents-d-eleves-en-difficulte-2101445.html>

Sauf cas très singuliers, en général liés à des traumatismes majeurs, les enfants sont souvent enthousiastes, curieux. Les activités de comptage, de déduction, d'observation d'image, de construction et d'invention de figures les stimulent. Toutefois, un excès de rigueur peut rendre les mathématiques répulsives pour beaucoup d'entre eux. Il n'est pas question d'encourager ou de valoriser systématiquement, au contraire, il faut tout faire pour maintenir le plaisir de « faire des maths ». Pour cela on ne peut exiger de l'enfant qu'il apprenne ce qu'il ne sait pas ! Cela viendra avec le temps, en lui donnant à faire et à refaire les choses qu'il aime faire, en cumulant les acquis. Bref, en le motivant. Par élargissement de sa zone de compétence dans la répétition, l'enfant désirera faire ce que le maître ou ses camarades font alors qu'il ne le fait pas encore. La phytosociologie nous apprend qu'on ne fait pas pousser une plante en tirant dessus : on la maintient dans un milieu stimulant en compagnie d'autres plantes complémentaires qui la stimulent et la défendent.

Enfin, les parents font eux aussi partie de l'équation éducative. Bien trop souvent, ces derniers sont tétanisés devant l'a priori - bien français - que, sans diplôme, l'avenir d'un enfant sera un échec. Cela se retrouvait notamment, jusqu'à la récente réforme du lycée, dans la préférence récurrente des parents pour la filière Scientifique pour leurs enfants, au sein de laquelle les mathématiques occupent une place de premier plan.

Le rôle des parents dans l'éducation des enfants est une clé de leur succès. Ils sont le premier niveau d'éducation. Le ministre de l'Éducation, Jean-Michel Blanquer, parle d'ailleurs régulièrement de « coéducation »<sup>79</sup>. Dans un article d'octobre 2020, Denis Peiron revient sur ce pacte éducatif entre parents et enseignants<sup>80</sup>. Il souligne qu'il est « indispensable de retisser le lien pour pouvoir enseigner sereinement ». Les objectifs de l'enseignement des mathématiques, décrits précédemment, ne pourront en faire abstraction.

<sup>80</sup> Quel pacte éducatif entre parents et enseignants, Denis Perron, La Croix, 21 octobre 2020 : <https://www.la-croix.com/Famille/Quel-pacte-educatif-entre-parents-enseignants-2020-10-21-1201120579>

## Redonner goût aux mathématiques

Christophe, enseignant de mathématiques en collège dans l'académie de Lille, résume parfaitement : « Enseigner, ce n'est pas seulement instruire. C'est également éduquer, partager, écouter, innover sans cesse, prendre en compte les besoins de chacun. C'est donner le goût de l'effort et du plaisir du travail. C'est une lourde responsabilité mais quelle belle mission ! »<sup>81</sup>. Simplement « redonner goût » aux mathématiques, tel doit être le premier pas de toute démarche visant à rehausser la culture mathématique des jeunes de notre pays. Cet enseignant insiste d'ailleurs sur l'importance du jeu, de l'élaboration de projets concrets, qui rendraient plus attractive une discipline souvent perçue comme trop « théorique, ou « abstraite » par les élèves.

Des projets existent, comme celui dénommé *Les Savanturiers*, créé par Ange Ansur et François Taddei, visant à l'élaboration de projets scientifiques concrets dans les écoles<sup>82</sup>. Depuis 2013, plus de 30 000 élèves sont impliqués dans ces divers projets. Créée en 2011 par l'Académie des Sciences, l'Ecole Normale Supérieure de Paris, et l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, la Fondation La Main à la Pâte a des visées similaires. Elle a pour ambition d'aider les professeurs à mettre en œuvre une pédagogie d'investigation, permettant de stimuler chez les élèves leur esprit scientifique<sup>83</sup>.

En 2008, L'Union Mathématique Internationale et la Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique lançaient le « Projet Klein ». Celui-ci visait à renouer avec l'ambition de Felix Klein, mathématicien allemand, exprimée en 1908 dans son fameux livre *Mathématiques élémentaires* d'un point de vue supérieur de tisser des liens entre la mathématique qui se fait et la mathématique qui s'enseigne. Or, comme le souligne le professeur agrégé Philippe

Colliard, « l'idée fondamentale de Felix Klein était de porter un regard d'universitaire sur ces maths élémentaires, de refuser les querelles de chapelle et les différentes interprétations des mathématiques qui en découlaient : des mathématiques du pauvre pour le secondaire, LA mathématique, la vraie pour le supérieur et la recherche »<sup>84</sup>. Il avance encore : « Mais ce que nous faisons maintenant dans le secondaire, un siècle plus tard, c'est exactement le contraire : encouragés par les programmes officiels, nous tentons de contourner les maths, de les enseigner en douce comme une potion amère qu'on doit faire avaler à un enfant malade récalcitrant », avant de conclure son propos : « la finalité de l'enseignement des maths à quelque niveau qu'il soit, du primaire au supérieur ne peut pas être de faire de chaque étudiant un chercheur, pas plus que celle du français ne peut être de faire de chaque étudiant un écrivain. [...] Des maths pour les maths. Pour leur goût ! »<sup>85</sup>.

Nous partageons cette analyse. Les projets comme celui des *Savanturiers*, ou de *La Main à la Pâte*, sont un excellent recours pour diffuser ce « goût des maths », et devraient être multipliés. Mais nous assistons aujourd'hui à un nouveau paradigme, avec le potentiel de bouleverser la vision de l'enseignement des mathématiques : l'ère du numérique, et surtout de l'intelligence artificielle. Ivan Kiriow, dans son livre *Dans le secret des mathématiques*<sup>86</sup>, souligne à juste titre que « les ordinateurs sont devenus les alliés indispensables des mathématiciens ». L'apprentissage du raisonnement conduit à l'apprentissage des algorithmes, qui eux-mêmes tracent la voie vers la compréhension de l'intelligence artificielle et du concept de données. Serait-ce de nature, et en mesure, de bouleverser la vision actuelle de l'enseignement des mathématiques à l'école ?

<sup>81</sup> Prof de Maths : « J'enseigne une matière dont les élèves perçoivent vite l'utilité », Hanane Lynn, vousnousils.fr, 2 mars 2018 : <https://www.vousnousils.fr/2018/03/02/prof-de-maths-enseigne-une-matiere-dont-les-eleves-percoivent-vite-lutilite-612627>.

<sup>82</sup> Page web de présentation des Savanturiers – École de la Recherche : <https://les-savanturiers.cri-paris.org/a-propos/presentation>.

<sup>83</sup> Page Web « Qui sommes-nous » de la Fondation La main à la pâte : <https://www.fondation-lamap.org/fr/qui-sommes-nous>.

<sup>84</sup> Le Goût des Maths, Philippe Colliard, Images des Mathématiques, CNRS, 4 octobre 2020 : <https://images.math.cnrs.fr/Le-gout-des-maths.html>

<sup>85</sup> Ibid.

<sup>86</sup> I. Kiriow, *Dans le secret des mathématiques*, Larousse, 2020.

# Les liens entre l'intelligence artificielle, le numérique et les mathématiques

**Si l'existence du lien entre mathématiques, informatique et intelligence artificielle est intuitif pour la majorité d'entre nous, la manière dont il se manifeste demeure un mystère. Qui dit mystère dit l'opportunité de mythifier ou créer un imaginaire autour de la technologie, pouvant en faire une menace ou un El Dorado. Dans tous les cas : quelque chose qui est distant de nous et de notre compréhension.**

Or, nous nous projetons aujourd'hui dans un monde où l'intelligence artificielle deviendra une évidence, à l'image de l'électricité ou d'Internet quelques années auparavant. Il devient donc impératif pour tous, et surtout pour ceux qui vont passer la majorité de leur vie dans un monde « algorithmé », de comprendre comment se forme le lien entre les mathématiques que l'on étudie à l'école et les algorithmes qui nous accompagnent dans notre vie quotidienne, dont certains basés sur l'intelligence artificielle.

## Comment les élèves perçoivent-ils l'intelligence artificielle et ses enjeux ?

À ce jour, il n'y a pas encore beaucoup de ressources ou sondages effectués auprès des élèves dans les écoles à propos de l'intelligence artificielle. Néanmoins, des initiatives de la part d'enseignants animant des activités autour de ces sujets constituent un pas vers une meilleure compréhension de ces enjeux. À titre d'exemple, une professeure de philosophie a permis à des élèves de s'exprimer sur le sujet de l'humanité et de l'intelligence artificielle<sup>87</sup>. Un collégien explique ce qui fait la différence ou plutôt la spécificité de l'être humain : « Un être humain a besoin d'ADN, d'organes, un caractère, une intelligence. Un humain doit avoir des émotions. Quelque chose qui le rend unique en son genre. Deux bras, deux jambes, une tête »<sup>88</sup>.

Il est ainsi intéressant pour nous de voir les idées que suscite l'intelligence artificielle chez les élèves, qui semble directement toucher à l'altérité avec l'humanité. Ouvrir le débat sur ces sujets est nécessaire afin de comprendre, puis déconstruire, les préjugés autour de la technologie tout en inscrivant les élèves dans une démarche scientifique. Philosophie et mathématiques se complètent et se recoupent dans la recherche de la vérité et au regard de la méthode de démonstration, nourrissant toutes deux la réflexion des écoliers. À défaut, il serait difficile de faire appel à l'esprit critique pourtant nécessaire à la liberté, que permet l'éducation.

Les prémisses de cette réflexion sont présentes chez les enfants dès leur plus jeune âge, comme peuvent en témoigner ces questions posées sur les robots lors de la *Nuit des chercheurs* en 2007 : « Qu'est ce qui se passe dans la tête des robots ? Est-ce qu'ils ont un cerveau ? Qui est le plus intelligent, nous ou le robot ? Les robots vont-ils à l'école ? »<sup>89</sup>. Le CNRS a répondu en détail à ces questions relativement objectives. On devrait retrouver des réponses adaptées aux enfants, dans les salles de classe. Le passage des mathématiques à la création de robots ne se fait pas néanmoins sans l'implication de plusieurs étapes et disciplines. D'où la richesse de l'intelligence artificielle comme sujet d'étude à aborder de manière globale.

<sup>87</sup> Des collégiens imaginent l'intelligence artificielle du futur, Angie Gadea, Fanny Bourrillon, Uzbek et Rica, 7 janvier 2019 : <https://usbeketrica.com/fr/article/intelligence-artificielle-futur-collegiens>

<sup>88</sup> *Ibid.*

<sup>89</sup> *Sept Questions (très faciles) sur les robots*, Charline Zeitoun, CNRS Le Journal, 28 Juillet 2020 : <https://lejournal.cnrs.fr/articles/sept-questions-tres-faciles-sur-les-robots>

Cela sous-entend également des sujets d'éthique dans l'étude des applications que peut avoir l'intelligence artificielle. Certes, pour les élèves, l'idée est d'être en mesure d'adopter une démarche scientifique dans leur manière d'appréhender l'intelligence artificielle et ses applications. Il est également important de leur donner accès aux outils qui leur permettront de se questionner sur les limites que devraient avoir les applications concrètes de la technologie, en fonction des domaines d'application. Pour cela, le professeur en informatique David Touretzky et certains de ses collègues avancent que « les élèves doivent être capables d'identifier les façons dont l'IA contribue à leur vie. Les impacts sociétaux de l'IA impliquent deux types de questions : à quelles applications l'IA doit-elle être utilisée (il y a un intérêt croissant pour « l'IA pour le bien social »), et à quels critères éthiques les systèmes d'IA doivent-ils répondre ? »<sup>90</sup>.

## Comprendre le raisonnement de la machine : leçons des États-Unis

Au-delà d'une approche « méta » de la technologie et des mathématiques, se pose donc la question philosophique du « pourquoi ». Il est nécessaire d'aussi considérer la question du « comment ».

Dès lors, il est essentiel pour les élèves de faire l'association entre les mathématiques, les données et les fonctions et mécanismes utilisés par la machine pour interpréter lesdites données et les transformer en modèles statistiques. Pour donner un exemple concret, le groupe de travail américain « AI for K-12 » suggère que les élèves puissent « comprendre que les ordinateurs construisent des représentations en utilisant des données, et que ces représentations peuvent être manipulées en appliquant des algorithmes de raisonnement qui tirent de nouvelles informations de ce qui est déjà connu »<sup>91</sup>. Cela leur permettrait de saisir les implications sur d'autres applications plus complexes, comme la reconnaissance vocale ou faciale. En effet, il s'agit de « comprendre que

la perception automatique du langage parlé ou de l'imagerie visuelle nécessite une connaissance approfondie du domaine. Par exemple, pour la parole, il faut connaître non seulement les sons de la langue mais aussi son vocabulaire, sa grammaire et ses modes d'utilisation. En l'absence de telles connaissances, la reconnaissance vocale par machine ne peut pas approcher la précision du niveau humain »<sup>92</sup>.

Aussi, il s'agit de démythifier les algorithmes auxquels on associe parfois une intentionnalité qui serait propre à l'intelligence artificielle, tandis que les modèles ne font qu'exécuter ce pourquoi on les programme. L'intelligence artificielle « générale » ou « forte » demeure pour l'instant de la science-fiction. Comment arrivons-nous alors à ce que représentent les ordinateurs ou les robots ? C'est tout un travail de pédagogie qui doit être fait en vue d'expliquer l'abstraction, c'est-à-dire « le concept de représentation, par exemple la façon dont une carte représente un territoire, ou un diagramme représente l'état d'un jeu de société »<sup>93</sup>.

Interrogé dans le cadre de nos entretiens, Sébastien Planchenault souligne toutefois : « Les liens entre informatique et intelligence artificielle ne sont pas forcément très clairs à l'école. Il y a aussi une certaine rupture qui arrive à un moment donné. Lorsqu'on parle d'algorithmique, on est sur un lien très proche entre les maths et l'informatique. Lorsqu'on parle de programmation, on est beaucoup plus sur la discipline proprement dite d'informatique. Au niveau de l'intelligence artificielle, on a encore trop peu de liens transmis à nos élèves. [...] Les statistiques développées au lycée ne sont que des statistiques descriptives, elles ne permettront pas de pouvoir utiliser ces outils-là. La modélisation n'intervient que beaucoup plus tard ».

Or, ce que l'on constate pour l'intelligence artificielle est déjà présent en mathématiques, en particulier en statistiques. On n'insiste jamais assez sur la relation entre l'observation (les données) et le traitement de ces observations (les résultats). Dans l'enseignement des mathématiques, trop rapidement, on

<sup>90</sup> *Envisioning AI for K-12: What Should Every Child Know about AI?* Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., & Seehorn, D., 2019. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence.*

<sup>91</sup> *Ibid.*

<sup>92</sup> *Ibid.*

<sup>93</sup> *Ibid.*

va s'intéresser au traitement des données sans se poser des questions sur les conditions et la nature des observations. Le nombre (forme privilégiée du résultat) qui n'est qu'une part du réel en devient la représentation, au point que le sens se perd. Une fois de plus le résultat, occultant l'observation, sert d'argument pour fonder une opinion qui s'oppose à la réalité.

C'est d'autant plus important de comprendre ce concept, dans la mesure où les algorithmes sont développés à partir de millions de données. La sécurité et l'intégrité de celles-ci deviennent un enjeu de taille. Si l'école prend une dimension digitale, les données scolaires seront au cœur de la stratégie numérique du ministère. Il s'agit dès lors de mieux les protéger pour mieux les valoriser.

## Un défi économique et compétitif à l'ère de l'intelligence artificielle

Intégrer l'intelligence artificielle n'est pas seulement un enjeu de taille au regard de l'école et de la construction d'une base intellectuelle pour les citoyens de demain. En effet, cet enjeu est fondamental au regard des objectifs de la France et de l'ambition en termes de compétitivité pour les années à venir. Pour faire cette course en tête, le déploiement de moyens financiers et humains est indispensable. Des moyens humains, avec la participation des mathématiciens, sont indispensables afin de consolider la compréhension du fonctionnement des algorithmes. Compte tenu des besoins en mathématiciens des autres secteurs de recherche scientifique, c'est une population de près de 10 000 femmes et hommes qui devrait être formée.

Aujourd'hui, on est loin du compte. La base de recrutement qui correspond à une classe d'âge d'environ 700 000 élève ne devrait pas être un obstacle. Toutefois, l'émergence du COVID-19 a fait bouger les choses. Dans un article publié en 2020, Marie-Christine Corbier, journaliste spécialisée dans le domaine de

l'éducation et de l'enseignement, annonce que la crise va chambouler le modèle des grandes écoles et que, dans l'enseignement supérieur privé, de nombreux rapprochements sont à venir<sup>94</sup>. Elle fait état de ses entretiens avec des spécialistes et notamment Franck Brunoy, directeur général de l'ESCP, qui voit les GAFAs comme de « nouveaux entrants ». Concernant les rapprochements dans le secteur privé, le président de *Galileo*, premier groupe d'enseignement supérieur, évoque « la badgisation » de l'éducation. Ce néologisme signifie que, dans les années à venir, le grand changement dans l'éducation serait le « diplôme par badge » des grandes entreprises, conséquence de la collaboration avec des grandes sociétés mondiales du numérique comme Google ou Apple.

La problématique est donc simple : si l'on souhaite assurer l'économie et la compétitivité française à l'ère de l'intelligence artificielle, comment maintenir la motivation des jeunes pour les mathématiques tout au long de leurs parcours scolaires ?

<sup>94</sup> Numérique, Mutualisations, fusions : la crise sanitaire va chambouler le modèle des grandes écoles, *Les Echos*, 12 octobre 2020 ; Numérique, mutualisations, fusions : la crise sanitaire va chambouler le modèle des grandes écoles | *Les Echos*.

**Intégrer l'IA est un enjeu fondamental pour les années à venir. Des moyens humains, avec l'aide des mathématiciens, sont indispensables afin de consolider la compréhension du fonctionnement des algorithmes.**



# 3<sup>e</sup> chapitre

## Donner une 2<sup>de</sup> chance aux mathématiques : quelles solutions ?

Si le lien entre mathématiques et intelligence artificielle est établi, encore reste-il à l'assurer. Au sein de l'Éducation nationale, de nombreuses expérimentations sont déjà en cours et concernent chacun des quatre sommets du « tétraèdre pédagogique ». Déduits du triangle pédagogique de Jean Houssaye<sup>95</sup>, ces sommets représentent respectivement le groupe, le savoir, les enseignants et les élèves.

Combinées à un éclairage de bonnes pratiques recensées à l'étranger, ces expérimentations ouvrent la voie vers des recommandations qui pourraient nous aider à revaloriser, sous l'auspice de l'intelligence artificielle, la culture mathématique et scientifique à l'école en France.

<sup>95</sup> *Théorie et pratiques de l'éducation scolaire I : le triangle pédagogique*, Jean Houssaye, 1988. Paris : Peter Lang.

# Le tétraèdre pédagogique augmenté : réflexion, action!

**En raison de l'importance de son rôle pour la société, l'Éducation nationale est perpétuellement engagée dans des transformations profondes. Le nouveau baccalauréat, qui a été mis en œuvre pour la première fois en 2020, n'en est que l'exemple le plus récent. En parallèle, un sujet qui attire de plus en plus l'attention depuis quelques années est le virage numérique pris par l'École.**

Nous nous référerons notamment au dossier Le numérique au service de l'école de la confiance<sup>96</sup> publié par l'Éducation nationale en 2019 et montrerons comment ces nouvelles applications technologiques - et plus particulièrement celles ayant recours aux techniques de l'intelligence artificielle - peuvent être utiles pour le renouveau de la culture mathématique en France.

De ces prescriptions, on retiendra tout d'abord qu'on ne peut pas forcer les usages : certaines forces résistent au numérique. Comme pour toute innovation, il faut, avec le temps, changer les usages et les relations avec les objets. Pour autant, il ne faut pas que la puissance du numérique ne mette au rebut les outils adaptés aux problèmes simples du passé, comme le rapporteur, le compas ou la règle décimale<sup>97</sup>. Résumant bien le tout, Aurélia Médan du Réseau *Canopé* explique « qu'envisager le numérique seulement comme un outil c'est passer à côté de l'essentiel, ne pas en saisir ni en comprendre tous les enjeux. C'est une culture professionnelle qu'il faut compléter et partager ».

## Le Groupe, ou l'environnement du système scolaire

L'environnement du système scolaire est le premier sommet du tétraèdre pédagogique à bénéficier de cette « augmentation » numérique.

<sup>96</sup> Le numérique au service de l'école de la confiance, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, 2019.

<sup>97</sup> Après ne sont-ce pas déjà là des outils établissant des rapports entre des concepts abstraits (cercle parfait, droite idéale, angle sublime) en figures concrètes impossibles à réaliser sans eux ? À la manière d'un

De nouvelles plateformes allant dans ce sens ont été développées par l'Éducation nationale. Par exemple, *Innovathèque* (anciennement *Expérithèque*) a pour objectif de recenser les innovations et les expérimentations pédagogiques de l'Éducation nationale et de la Jeunesse sur l'ensemble du territoire. Ce type de dispositif contribue à renouveler l'offre pédagogique ainsi qu'à la rendre plus innovante, en particulier pour les mathématiques. Depuis 2019, la plateforme *Etincel* développée par le réseau *Canopé* propose également des ressources numériques pour les enseignements professionnels et technologiques à destination aussi bien des élèves que des professeurs. Issue du projet *ENI* ('École, Numérique, Industrie'), elle contribue significativement à rendre les mathématiques plus proches des réalités professionnelles des élèves en filières techniques. S'agissant des liens entre mathématiques et intelligence artificielle, ce type de projet permet spécifiquement de concilier ces deux domaines auprès des élèves tout en reliant l'enseignement à des situations concrètes. Une telle initiative permet de renforcer, sinon d'augmenter, la motivation des élèves mais aussi de faire évoluer certaines visions stéréotypées sur l'industrie. Résultat : des maths appliquées, au-delà même de la salle de classe!

Par ailleurs, des banques de ressources numériques éducatives ('BRNE') sont mises à disposition des enseignants et des élèves, du CM1 à la 3<sup>e</sup>. Pour le Cycle 3 (CM1-6<sup>e</sup>), les 1100 ressources proposées

algorithmes, ils gardent en effet en mémoire la distance (avec les deux pointes du compas), et la relation entre les choses (écart entre deux droites ou segment entre deux points) et les nombres (codés sur la règle et le rapporteur).

sont téléchargeables et exploitables pour travailler les six compétences majeures des mathématiques : chercher, modéliser, représenter, calculer, raisonner et communiquer. Les élèves peuvent par exemple créer des clips de mathématiques dynamiques, qui favorisent l'apprentissage. Les outils peuvent également être paramétrés sur un mode collaboratif. Ce faisant, les élèves voient les contributions de leurs pairs, ce qui peut constituer un facteur stimulant. Pour le Cycle 4 (5<sup>e</sup>-3<sup>e</sup>), 2750 ressources de la BRNE sont disponibles et permettent, entre autres, d'enseigner la proportionnalité par une approche cumulative, appréhender la géométrie avec des vidéos pour les classes inversées, et surtout découvrir la programmation avec *Scratch*. Preuve en est, le rapprochement entre mathématiques et intelligence artificielle existe et doit vigoureusement être soutenu, augmenté, décuplé.

Enfin, les compétences informatiques sont désormais évaluées à leur juste valeur. Inspiré du cadre européen, un cadre de référence des compétences numériques (CRCN) valable de l'école primaire jusqu'à l'université a été mis en place en octobre 2019. Ce référentiel établit la progression des élèves grâce à des séries d'exercices qui s'adaptent à leur niveau en passant par la plateforme d'État *PIX*.

*En raison de l'importance grandissante des sciences informatiques et de leur proximité avec les mathématiques, le second souffle de ces dernières passera également par des compétences informatiques maîtrisées par les élèves!*

## Le Savoir

Le second sommet du tétraèdre - à savoir... le savoir! - est également augmenté par l'accent récemment porté sur l'informatique et l'intelligence artificielle. De nouveaux enseignements, portant notamment sur le codage (l'écriture et la grammaire) et la programmation (structuration de la pensée), font l'objet d'expérimentations dans les écoles, collèges et lycées, dans le but d'assurer une meilleure transmission du savoir des sciences numériques.

À titre d'exemple, des initiations au codage et à la programmation ancrées dans les programmes de mathématiques et de technologie ont été mises en place pour les classes de fin de primaire et de collège dès 2016, lesquelles ont fait l'objet d'un renforcement en 2019. Au brevet des collèges, les élèves de troisième ont depuis lors au moins un exercice d'algorithmique ou de programmation. L'ancienne Ministre de l'Éducation de l'époque, Najat Vallaud-Belkacem, expliquait qu'un tel apport dans la formation des jeunes élèves était « fondamental, à la fois pour comprendre et maîtriser notre environnement numérique, et parce que le codage favorise l'ordonnement de la pensée »<sup>98</sup>, également recherché dans les mathématiques. Dans un collège de la Sarthe, un professeur explique : « [Le] cours de programmation permet d'apprendre comment décomposer un problème, à l'analyser et à le résoudre »<sup>99</sup> et, ce faisant, de véhiculer la culture mathématique d'une manière efficace, pratique et concrète.

C'est au lycée que les changements les plus importants sont toutefois à noter. En classe de seconde, un enseignement obligatoire commun de 'Sciences numériques et technologie' de 1h30 par semaine est mis en œuvre depuis la rentrée 2019. Il a pour but d'appréhender les principaux concepts liés au numérique : numérisation généralisée des données, nouvelles modalités de traitement ou de stockage,

<sup>98</sup> Le plan numérique à l'école renforce encore le rôle des enseignants, Najat Vallaud Belkacem, Le Monde, 21 avril 2016 : [https://www.lemonde.fr/campus/article/2016/04/21/najat-vallaud-belkacem-le-plan-numerique-a-l-ecole-renforce-encore-le-role-des-enseignants\\_4905747\\_4401467.html](https://www.lemonde.fr/campus/article/2016/04/21/najat-vallaud-belkacem-le-plan-numerique-a-l-ecole-renforce-encore-le-role-des-enseignants_4905747_4401467.html)

<sup>99</sup> Comment enseigne-t-on le code au collège ?, Emile Brouze, Le Nouvel Obs, 8 décembre 2016 : <https://www.nouvelobs.com/rue89/rue89-nos-vies-connectees/20161207RUE5940/comment-enseigne-t-on-le-code-au-college.html>

algorithmes divers, etc<sup>100</sup>. Dans la continuité de cet enseignement obligatoire, un nouvel enseignement de spécialité a été introduit pour les classes de première et terminale de filière générale. Intitulé cette fois-ci 'Numérique et sciences informatiques', ce cours est suivi à raison de 4h par semaine en première puis de 6h par semaine en terminale. Les compétences mises en lumière par cet enseignement sont variées et complémentaires : décomposer un problème en sous-problèmes, concevoir des solutions algorithmiques, développer des capacités d'abstraction et de généralisation, analyser et modéliser un problème en termes de flux et de traitement d'informations, etc. Il faut noter qu'un diplôme inter-universitaire (DIU) 'Enseigner l'informatique au lycée' ainsi qu'un MOOC<sup>101</sup> développé par l'INRIA<sup>102</sup> ont été spécifiquement créés en 2019 pour accompagner les futurs enseignants en 'Sciences numériques et technologie' et 'Numérique et sciences informatiques'.

Comme le prouve l'introduction de ces nouveaux enseignements qui reposent partiellement sur les sciences mathématiques, l'hybridation entre le numérique et les mathématiques continue, se renforce, et ouvre la voie vers une meilleure compréhension des enjeux de l'intelligence artificielle, essentiels à saisir pour notre époque et les générations futures. Or, si d'une part la culture mathématique et la culture numérique se renforcent mutuellement, d'autre part l'intelligence artificielle se met elle-même au service de l'enseignement des mathématiques.

En effet, l'amélioration de la transmission du savoir passe également par les innovations numériques au service de l'efficacité pédagogique. Dans le cadre du partenariat d'innovation en intelligence artificielle (P2IA) de l'Éducation nationale, trois assistants pédagogiques visant à un meilleur apprentissage des mathématiques sont en cours de test. *Adaptiv'Math*, par exemple, est un assistant intelligent qui personnalise le parcours de l'élève à partir d'un

test diagnostique initial, cible ses difficultés tout en l'encourageant avec un système de récompense ludique et enfin enrichit la vision pédagogique de l'enseignant en lui donnant accès à une visualisation des groupes de niveau au sein de la classe et à une synthèse des résultats de chaque élève. De façon similaire, *Mathia* permet de suivre les progrès des élèves et de construire des parcours individualisés à l'aide d'un assistant virtuel didactique « attachant ». Les résultats des élèves sont agrégés en temps réel par l'intelligence artificielle, ce qui permet d'avoir un visuel complet et synthétique de la progression. Enfin, grâce à un tableau de bord intelligent, Smart Enseigno propose un apprentissage adaptatif en mathématiques aux élèves de CP, CE1 et CE2.

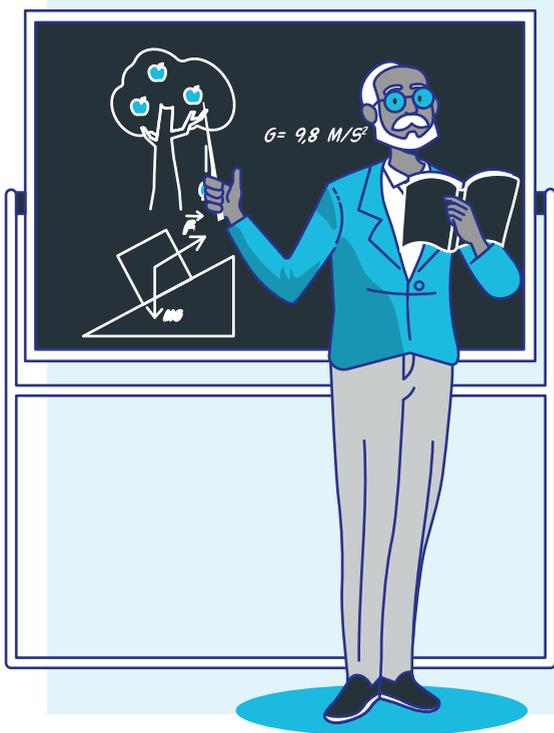
Des maths pour l'intelligence artificielle, donc, d'une part, mais également l'intelligence artificielle pour les maths ! C'est avec cette optique que Laurence Gourdon explique le lien entre les deux domaines. Car si l'école se doit d'apporter à ses élèves un apprentissage autour de l'intelligence artificielle, l'intelligence artificielle peut également être utilisée d'un point de vue pratique dans les classes pour favoriser l'apprentissage. « La culture mathématique va permettre la compréhension et la réflexion nécessaire à la démythification et l'approvisionnement de l'intelligence artificielle. Mais inversement, on peut aisément imaginer que l'intelligence artificielle va améliorer le niveau mathématique de l'élève en s'adaptant au parcours de l'élève et sa vitesse d'apprentissage. (...) À titre d'exemple, le crantage mémoriel est un outil de taille dans l'apprentissage des mathématiques. Dans mon établissement, toutes les classes à partir de la seconde sont dotées de l'outil « *Quick* », proposé par des étudiants de CentraleSupélec. L'utilisation de tels outils peuvent permettre une meilleure personnalisation avec une meilleure adéquation des cours et des épreuves. On peut aussi imaginer un meilleur accompagnement du professeur, pour individualiser les apprentissages ».

<sup>100</sup> Programmes et ressources en sciences numériques et technologie, Ministère de L'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, BO n°1 du 22 janvier 2019 : [https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Consultations2018-2019/71/3/PPI\\_18\\_Sciences-numeriques-technologie\\_COM\\_2e\\_1025713.pdf](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Consultations2018-2019/71/3/PPI_18_Sciences-numeriques-technologie_COM_2e_1025713.pdf)

<sup>101</sup> Massive Open Online Course.

<sup>102</sup> Institut National de Recherche en Sciences et Technologie du Numérique.

## Le Ministre de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports, Jean- Michel Blanquer, a lancé le Grenelle de l'Éducation fin 2020.



### Les enseignants et élèves

Il convient désormais d'adresser la question des deux derniers sommets du tétraèdre pédagogique - non des moindres, qui comptent d'un côté les élèves, et, de l'autre, les enseignants.

Les solutions mathématiques développées dans le cadre du *P2IA* susmentionné peuvent largement profiter aux élèves : la mémorisation des savoirs, procédures et techniques en ressort largement favorisée grâce à l'utilisation de techniques d'empreinte mémorielle différenciée.

De même, ces applications peuvent être d'un grand recours pour les enseignants, en leur fournissant divers métriques et tableaux de bord pour suivre l'évolution de leur classe, collectivement, et des élèves, de manière plus individuelle. En ce qui concerne le corps enseignant, il est important de souligner que le Ministre de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports, Jean-Michel Blanquer, a lancé le 'Grenelle de l'Éducation' fin 2020<sup>103</sup>. Dès le mois de janvier 2021, une prime d'équipement informatique annuelle de 150 € net sera versée notamment aux professeurs et psychologues de l'Éducation nationale pour renouveler leurs équipements. À travers cette mesure, l'attractivité du métier d'enseignant devrait être renforcée, le sommet du tétraèdre pédagogique consolidé et, par conséquent, l'enseignement des mathématiques et du numérique favorisé.

<sup>103</sup> Page web de présentation du Grenelle de l'éducation, 2021, Eduscol : <https://www.education.gouv.fr/grenelle-de-l-education-une-revalorisation-des-personnels-en-2021-307263>

# Les solutions adoptées en France et à l'étranger

**Tournons-nous à présent vers le pédagogique. Ces dernières années, diverses méthodes applicables aux mathématiques ont été mises en lumière en France et surtout à l'étranger. Nous en soulignons trois : la méthode Montessori, la fameuse méthode de Singapour, puis le cas particulier de la Suisse.**

## Méthode Montessori

**L'approche Montessori, qui est tout autant une méthode d'éducation qu'une philosophie, met en valeur le potentiel de l'enfant en lui laissant une grande liberté d'action et de mouvement.**

La méthode Montessori repose sur le principe selon lequel les enfants ont une curiosité naturelle et insatiable ainsi qu'un grand désir d'apprendre et de découvrir le monde qui les entoure. Le but est alors de les stimuler et de les canaliser à l'aide du matériel Montessori mis à leur disposition dans un environnement préparé. L'enseignant spécialisé en éducation selon les principes Montessori guide l'enfant dans ses apprentissages en se servant du matériel et des approches éducatives élaborées par la docteure Maria Montessori. C'est l'enfant lui-même, en manipulant, en explorant et en travaillant avec le matériel sensoriel concret, qui assimilera graduellement les concepts abstraits sous-jacents. Plus que de mémoriser des notions, l'enfant intègrera profondément les apprentissages, en passant progressivement du réel à l'abstrait. Cette approche-méthode met également l'accent sur l'enseignement individualisé et progressif en permettant à chaque enfant d'évoluer à son propre rythme : les enfants plus « lents » ne sont pas frustrés dans leur soif d'apprendre tandis que les enfants plus « rapides » progressent sans entraves.

La méthode Montessori a été déclinée sous différentes méthodes appliquées à des thèmes spécifiques. En ce qui concerne l'enseignement de l'informatique, la méthode *COLORI* initie les élèves, dès la

maternelle, au codage et à la programmation. Cette pédagogie est basée sur le conte de « *Hayo le robot* » qui, au fil des ateliers, va permettre de traiter des algorithmes, de la numération binaire, de la logique booléenne et enfin de l'intelligence artificielle, et ce indépendamment de l'utilisation d'écrans. Cette déclinaison permet de développer de nombreuses autres compétences, telles que la capacité d'abstraction et de résolution de problèmes, la pensée logique, les mathématiques, le vocabulaire, etc.

Cependant, bien que la méthode Montessori ait fait ses preuves en termes d'efficacité elle n'est pas encore largement répandue en raison d'obstacles techniques, liés aux délais de formation des professeurs (qui s'étendent sur une année complète dont 9 semaines de stage pratique), ainsi qu'aux coûts élevés des matériels spécifiques. Un autre obstacle réside dans le fait que la méthode réside sur une approche autocorrective, ce qui signifie que l'enfant est censé se corriger lui-même.

Au premier abord, cet aspect de la méthode ne semble pas problématique car, si l'enfant ne parvient pas à s'auto corriger, c'est que le thème traité peut être trop compliqué pour ce dernier et requiert que l'enseignant le reprenne avec l'enfant. Compte-tenu de l'importance de l'erreur dans cette méthode d'apprentissage, l'enseignant peut aller jusqu'à provoquer des erreurs afin entraîner l'enfant à se corriger lui-même. Le problème réside dans le fait que l'apprentissage par l'erreur doit être pris en compte par les parents, notamment lorsqu'on sait que certains parents d'élèves peuvent avoir tendance à sacrifier leurs enfants sur l'autel du culte de la

performance. Or, si devenus otages de l'angoisse de leurs parents, les enfants portent dès leur plus jeune âge un fardeau qui les dépasse - la peur de l'erreur et de l'échec, cela devient par voie de conséquence un facteur de stress, cause fréquente de l'échec scolaire. En parallèle de ce culte de la performance, en raison du déluge informationnel et de l'interconnectivité les parents d'aujourd'hui peuvent se faire plus aisément une opinion, plus ou moins bien informée, sur la pédagogie. Avec une remise en cause croissante des façons de faire des enseignants dont c'est pourtant le métier, ces derniers semblent devoir se justifier en permanence. Les parents vont avoir tendance à projeter leur propre vécu sur leurs enfants alors que la situation a totalement changé. Sans transformation profonde de l'attitude des parents vis-à-vis des équipes pédagogiques, il risque d'être difficile de mettre en place le processus de co-éducation mentionné précédemment, si cher au Ministre de l'Éducation, et qui semble indispensable à l'épanouissement des enfants si l'on souhaite leur donner la curiosité des connaissances tant scientifiques que littéraires.

## Méthode (ou mathématiques) de Singapour

**À l'instar de la méthode Montessori, la méthode de Singapour s'appuie sur les principes de la psychologie du développement, mis en évidence par le psychologue Jean Piaget<sup>104</sup>,**

Cette méthode vise à représenter les problèmes mathématiques sous forme d'images ou de modèles afin de mieux en saisir l'utilité et le fonctionnement. Cela s'avère particulièrement efficace pour les élèves de primaire puisqu'elle permet de conceptualiser de façon plus concrète, en passant par le visuel, des notions autrement très abstraites pour de si jeunes enfants<sup>105</sup>. Le professeur peut par exemple remplacer les données d'un problème de mathématiques (2 + 1 = 3) par des objets que les élèves peuvent manipuler

eux-mêmes. Ensuite, l'objet est remplacé par une image ou un schéma : cette étape intermédiaire entre le concret et l'abstrait est centrale pour l'enfant. Une fois que les enfants ont compris le principe mathématique sous-jacent, la situation peut être convertie en chiffres et symboles. Sur le long terme, la méthode permet notamment d'aiguiser les qualités des élèves en matière d'observation, de modélisation mathématique, d'entraînement et de répétition, d'utilisation des jeux mathématiques et de résolution des problèmes<sup>106</sup>.

Créée dans les années 1980 au sein du ministère de l'Éducation de Singapour, l'objectif de la méthode de Singapour est de répondre à la même problématique que celle à laquelle nous sommes aujourd'hui confrontés en France : remonter le niveau scolaire en mathématiques. Objectif accompli : les élèves singapouriens comptent de nos jours parmi les meilleurs du monde en mathématiques ! Les récents résultats de l'évaluation TIMSS pour l'année 2019 montrent par exemple qu'environ 50 % des élèves de Singapour atteignent un niveau « avancé » en mathématiques, contre 2 % en France, faisant de ceux-ci les avant-derniers du classement<sup>107</sup>.

Napoléon Bonaparte, excellent mathématicien, disait déjà qu'un bon croquis vaut mieux qu'un long discours. Ainsi, l'utilisation de l'image ouvre la voie à une meilleure conceptualisation des mathématiques et, par conséquent, de l'intelligence artificielle, qui elle-même rend plus facile l'exploitation du contenu d'une image. À nous d'en tirer le meilleur !

Toutefois, si la méthode d'enseignement des mathématiques singapouriennes a su faire ses preuves, son succès reste à nuancer vis-à-vis de toute potentielle adaptation en France. En effet, les normes scolaires et la culture du travail singapouriennes se distinguent considérablement de celles que nous pourrions connaître en France. Une étude de l'OCDE<sup>108</sup> datant de

<sup>104</sup> Où va l'éducation, Jean Piaget, 1988, Gallimard, Paris.

<sup>105</sup> La méthode de Singapour : Dossier complet, La Salle des maîtres : <https://www.lasalledesmaîtres.com/methode-singapour/>.

<sup>106</sup> Collection comprendre les maths avec Léonie, Bordas éditeur : <https://www.editions-bordas.fr/methode-de-singapour-maths-avec-leonie.html>.

<sup>107</sup> La France avant-dernière d'un classement international sur l'enseignement des maths et des sciences, Ouafia Kheniche et Julien Baldacchino, France Inter, 8 décembre 2020 : <https://www.franceinter.fr/education/la-france-avant-derniere-du-classement-international-timss-sur-l-enseignement-des-maths-et-des-sciences>.

<sup>108</sup> Les devoirs entretiennent-ils les inégalités en matière d'éducation, PISA à la loupe n°46, OCDE, 2014.

2014 démontrait notamment qu'un élève singapourien consacrait en moyenne 9,4 heures par semaine aux devoirs, soit deux fois plus que nos élèves français, qui n'y consacrent que 4,5 heures par semaine. Une autre étude<sup>109</sup> démontrait également que 67 % des parents singapouriens ont inscrits leurs enfants à des cours particuliers - c'est donc plus de deux élèves sur trois qui se retrouvent à retravailler le programme scolaire après avoir quitté la salle de classe. Et lorsque les parents s'orientent vers les cours particuliers, ils ne font pas dans la demi-mesure : 23 % des parents singapouriens estiment que les cours particuliers peuvent débiter dès l'âge de 3 ans, et 51 % des parents sollicitant les services d'un tuteur pour leur(s) enfant(s) déboursent plus de \$500 par mois et par enfant. Difficile donc d'estimer le véritable mérite de la méthode d'enseignement des mathématiques singapourienne - ou si celle-ci pourrait réellement se calquer dans le contexte français. Mais l'option est sur la table.

## Le cas de la Suisse

En Suisse, aussi surprenant que cela puisse paraître pour une personne issue du système éducatif français, seule 40 % d'une classe d'âge obtient le baccalauréat<sup>110</sup>. Pourtant, le pays fait preuve d'un excédent budgétaire récurrent, d'un taux de chômage très bas (2.3 % en 2019<sup>111</sup>), de salaires élevés (revenu médian mensuel à 6200 € en 2018<sup>112</sup>) et ce sans compter le plus fort taux de prix Nobel scientifique par habitant. Comment expliquer ce décalage entre, d'une part, une culture scientifique et une réussite sociale très diffuse dans la population et, de l'autre, une faible proportion de citoyens diplômés du baccalauréat ? Pour pouvoir répondre à cette question, il convient tout d'abord de se pencher sur la conception « sociale » du baccalauréat en France et en Suisse.

Qu'il provienne d'une filière générale, professionnelle ou technologique, le bachelier est roi au Royaume

de France, avec environ 80 % d'une classe d'âge qui obtient le baccalauréat chaque année. « Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre », disait Platon. Changement d'époque évident ; le géomètre est mort, vive le bachelier.

À l'inverse de cette approche quasi-sacralisée du baccalauréat en France, la Suisse porte l'accent sur une formation professionnelle initiale très solide qui n'a pas besoin d'être valorisée par un baccalauréat en fin de cursus. Plus de deux tiers des jeunes suisses choisissent cette voie ou bien y sont orientés. Ensuite, un vaste réseau de passerelles permet d'évoluer vers la formation professionnelle supérieure, sans nécessiter l'obtention d'un baccalauréat. L'enseignement supérieur distingue alors les « hautes écoles » (nommées 'tertiaire A') des écoles qui relèvent de la « formation professionnelle supérieure » (nommées 'tertiaire B'). Or, le réseau de passerelle est si riche qu'il est même possible d'obtenir un doctorat sans nécessairement être passé par le tertiaire A !

Pour conclure, l'ensemble des moyens accordé aux formations professionnelles en Suisse - souvent rétrogradées en France, bien qu'essentielles - permet à ces filières de tirer tout leur potentiel. À ce sujet, la Fondation l'IA pour l'Ecole était intervenue en décembre 2020 lors de la Journée des Partenaires annuelle du *Club SEIMAT (Syndicat des Entreprises Internationales de Matériels de Travaux Publics, Mines et Carrières, Bâtiment et Levage, Manutention)*<sup>113</sup> : nous y défendons l'appropriation de l'intelligence artificielle dans toutes les filières, aussi bien générales que professionnelles. Nous croyons fermement que le rehaussement de la culture mathématique et scientifique en France passera également par une juste valorisation des filières techniques, en suivant l'exemple de la Suisse.

<sup>109</sup> *Means to an End: a comparative review of Finland and Singapore's Basic Education System*, Wilfred L'au, Lund University, 2015 : <https://www02.core.ac.uk/download/pdf/289945917.pdf>

<sup>110</sup> *Débat : La Suisse, ce pays où la réussite sociale n'est pas déterminée par le bac*, The Conversation, 17 juin 2020 : <https://theconversation.com/debat-la-suisse-ce-pays-ou-la-reussite-sociale-nest-pas-determinee-par-le-bac-140309>

<sup>111</sup> *Le taux de chômage en Suisse, à 2,3% en 2019, du jamais vu depuis 1997*, Radio Télévision Suisse, 10 janvier 2020 : <https://www.rts.ch/info/economie/11002153-le-taux-de-chomage-en-suisse-a-2-3-en-2019-du-jamais-vu-depuis-1997.html>

<sup>112</sup> *Niveau des salaires - Grandes régions*, Office fédéral de la statistique, 2020 : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/travail-remuneration/salaires-revenus-cout-travail/niveau-salaires-grandes-regions.html>

<sup>113</sup> *Intelligence artificielle et travaux publics : préparer le changement*, Alexander Chourreau, Fondation l'IA pour l'Ecole, 7<sup>e</sup> décembre 2020 : <https://iapourlecole.fr/2020/12/01/intelligence-artificielle-et-travaux-publics-preparer-le-changement/>

**La Suisse met  
l'accent sur  
une formation  
professionnelle  
initiale très solide  
qui n'a pas besoin  
d'être valorisée par  
un baccalauréat  
en fin de cursus.**

8  
—

recommanda

**pour une culture  
mathématique à la hauteur  
des enjeux présentés  
par l'intelligence artificielle**

# tions

Au cours de nos réflexions, nous avons pu mettre en lumière la complémentarité entre la culture mathématique, la pensée informatique et l'intelligence artificielle ainsi qu'exposer différentes initiatives et méthodes mises en place par l'Éducation nationale ou à l'étranger. Afin de nous inscrire comme acteurs d'un changement en faveur d'une intelligence artificielle au service de l'éducation, tout aussi bien que d'une éducation à une intelligence artificielle plus éthique, nous terminons ce chapitre avec un ensemble de 8 recommandations générales couplées de propositions de plans d'action pour promouvoir une culture mathématique à la hauteur des enjeux présentés par l'intelligence artificielle.



# Repenser le programme de façon à (re)valoriser les mathématiques

Comme il l'a été souligné à plusieurs reprises au cours de cet ouvrage, les défis présentés par l'intelligence artificielle peuvent difficilement faire abstraction des mathématiques... et inversement ! Afin de réamorcer l'appétence des jeunes pour cet enseignement qui leur semble souvent trop abstrait et lointain, il est nécessaire d'inclure dans le programme scolaire des séances de sensibilisation aux applications concrètes des mathématiques dans leur vie de tous les jours - via les algorithmes ou sur Internet - afin de leur redonner leur plein sens.

## ➔ Revaloriser les mathématiques grâce à l'enseignement de l'intelligence artificielle

Partant du constat que les préadolescents sont habitués à interagir avec leur téléphone et sur les réseaux sociaux, certains pays étrangers comme le Canada ou la Corée du Sud ont pris la décision de former les élèves de la fin du primaire au début du secondaire aux enjeux de l'intelligence artificielle. La conceptrice et responsable de ce nouveau programme éducatif au Canada, Lucie Luneau, indique que « [l'idée] n'est pas d'en faire des futurs experts en intelligence artificielle mais de leur expliquer comment cela marche et de déconstruire certains clichés »<sup>114</sup>. En effet Kate Arthur, la fondatrice de *Kids Code Jeunesse* qui anime certains de ces ateliers, précise que « [leur] focus, ce n'est pas le codage mais plus globalement l'éducation aux outils avec lesquels nos enfants vont vivre »<sup>115</sup>.

<sup>114</sup> Au Canada, on dispense des cours d'intelligence artificielle dès l'école primaire, Kévin Deniau, L'usine Digitale, 15 janvier 2020 : <https://www.usine-digitale.fr/article/au-canada-on-dispense-des-cours-d-intelligence-artificielle-des-l-ecole-primaire.N919934>

<sup>115</sup> Ibid.

**Ce que la Fondation prescrit est un système d'enseignement de l'intelligence artificielle en 3 phases :**

### *École primaire*

La première phase viserait l'école primaire, durant laquelle il s'agirait d'initier les enfants à la manipulation de matériels et logiciels basés sur l'intelligence artificielle, tout en les familiarisant aux problèmes de sécurité et d'éthique.

### *Collège & lycée*

La seconde phase, qui concernerait les élèves de collèges et lycées, nécessiterait la mise en place de séances d'approfondissement de ce qui aura été vu en primaire. Celles-ci iraient de pair avec les cours de programmation désormais à l'agenda éducatif. Entraînement d'algorithmes d'apprentissage machine ou apprentissage profond, travaux pratiques avec des robots, étude de la reconnaissance d'image ou vocale, approfondissement des thèmes de sécurité et d'éthique, hiérarchisation

des données en fonction de leur criticité, jeux et concours de création d'intelligences artificielles : tout un champ des possibles s'offre à nous, sur le plan théorique comme pratique, et permettra aux élèves de cultiver certaines compétences qui leur seront utiles quel que soit leur futur domaine d'orientation.

### *Enseignement supérieur*

La troisième phase requerrait de mettre en place des enseignements spécifiques à l'arrivée dans l'enseignement supérieur, en fonction de la filière universitaire choisie, tout en encourageant les formations hybrides. Bien évidemment, les étudiants en intelligence artificielle appelés à devenir chercheurs, ingénieurs ou entrepreneurs, pourront explorer toute la diversité et la complexité de l'intelligence artificielle mais l'accent devrait également être mis sur les enjeux éthiques liés au développement des technologies numériques, afin qu'ils puissent être en mesure « [d'agir] de manière responsable, en prenant en considération les impacts socio-économiques de leurs activités »<sup>116</sup> comme le préconise le rapport Villani, aspect encore trop souvent oublié des cursus universitaires.

Pour autant, les étudiants provenant des autres cursus devraient également être formés aux applications de l'intelligence artificielle qui intéressent leur domaine de spécialisation, afin de rendre moins abstraite la notion d'intelligence artificielle et la rapprocher du quotidien des élèves. Par exemple, on peut imaginer que des études poussées de la voiture autonome soient présentées dans les études relatives aux transports, ou que les élèves des formations relatives aux langues et à la culture soient initiés au 'Natural Language Processing' (NLP) et à la traduction automatique.

## Revaloriser les mathématiques grâce à l'enseignement de la philosophie

En intégrant les élèves au sujet de l'intelligence artificielle tout au long de leur parcours académique, on peut donc espérer un regain d'intérêt pour l'enseignement des mathématiques. Ce regain pourrait également être renforcé par une restauration du dialogue entre la philosophie et la science, méthode qui a pu porter ses fruits par le passé. La première cherchant à déceler le pourquoi et la seconde à découvrir le comment, ces deux disciplines sont parfaitement complémentaires. Ainsi, quant au débat autour de l'anticipation de l'apprentissage de la philosophie ayant actuellement lieu au sein de l'Éducation nationale, nous recommandons d'inscrire cet enseignement dans le programme scolaire dès le collège. Non seulement appelés à raisonner par eux-mêmes au travers des exigences de conceptualisation et d'argumentation, les élèves exposés plus tôt aux questionnements philosophiques pourraient y trouver plus de sens à cet apprentissage, et à celui des mathématiques en parallèle.

<sup>116</sup> Donner un sens à l'Intelligence Artificielle, pour une stratégie nationale européenne, Dossier de presse du rapport Villani, AI For Humanity, mars 2018.

## 2

## Repenser la manière dont sont dispensées les mathématiques

Si nous encourageons une évolution du programme pédagogique, la façon dont il est dispensé doit également être repensée afin de pouvoir déployer les pleines compétences des élèves et raviver l'intérêt pour les mathématiques. Pour ce faire, nous recommandons d'offrir un nouveau climat pédagogique aux jeunes enfants, faisant en sorte que l'élève se sente accueilli, et qu'il vive une expérience plus enrichissante que le simple apprentissage du savoir.

En effet, Philippe Fleury, membre de notre collège scientifique, appelle à prendre en compte l'émotivité des élèves face aux mathématiques. Insister sur les émotions positives, liées par exemples à la découverte de la solution d'un problème, pourrait améliorer la didactique des mathématiques. Pour ce faire, il faudrait s'éloigner des logiques de « par cœur » pour mettre en avant davantage le domaine cognitif : valoriser le maniement des nombres plutôt que des règles de calcul, le raisonnement par-delà la connaissance des théorèmes, l'imagination par-dessus la maîtrise des règles. À titre d'exemple, après avoir réalisé 2 ou 3 exercices en classe, l'enseignant pourrait poser la question de savoir si les élèves ne voudraient pas en imaginer un autre.

Par ailleurs, afin d'entrer dans ce nouveau paradigme, il faudrait changer la fonction et/ou le fonctionnement de l'évaluation. Dans la *Revue généraliste de recherches en éducation et formation*, Maud Bezançon, Baptiste Barbot, et Todd Lubart ont pu souligner que « [la] question soulevée il y a plus d'un siècle par Binet concernant l'évaluation des compo-

*Valoriser le maniement  
des nombres plutôt que  
des règles de calcul,  
le raisonnement par-delà  
la connaissance des théorèmes,  
l'imagination par-dessus  
la maîtrise des règles*

santes cognitives supérieures est encore aujourd'hui d'actualité. Cette question est tout aussi importante dans le milieu de la recherche que dans le champ plus pratique de la psychologie et de l'éducation. Afin que chaque personne puisse s'adapter au mieux à notre environnement en constante évolution, il est donc important de soutenir et développer le potentiel créatif de chacune d'elle en prenant en considération leur profil créatif et en adaptant les

pratiques éducatives »<sup>117</sup>. Au 21<sup>e</sup> siècle, il serait temps d'introduire une évaluation hybride, pondérant la notation chiffrée<sup>118</sup> et la capacité des enfants à, par exemple, se déployer vers le collectif, interroger son enseignant ou ses camarades, demander de l'aide en cas de difficulté, aider et guider ses camarades en difficulté ou apprendre de ses erreurs.

Afin de favoriser cette émulation tout en même temps que l'intérêt pour les mathématiques, l'enseignement des mathématiques devrait être pensé de façon à favoriser la rencontre entre les élèves, au sein de petits groupes, et rejoindre les intérêts propres à leur tranche d'âge. En effet, jusqu'à la fin de l'école primaire, les mathématiques devraient garder une dimension ludique, en les basant sur des objets et des situations concrètes, en s'inspirant de la méthode de Singapour. Les activités pourraient se dérouler aussi bien en solitaire (jeux de réflexion, casse-têtes, énigmes, devinettes...) qu'en duel (échecs, dames, go...) et en groupe (constructions, compétitions...). Concernant les élèves de niveau collège, nous pourrions également, pour absoudre les pré-adolescents des questionnements propres à cet âge qui ont tendance à prendre le pas sur le reste, introduire des outils rationnels les aidant à mieux comprendre et raisonner : comparaisons (égalité, inégalité, proportion...), généralisations (statistiques, probabilités...), explorations (recherche d'inconnue, équation, inéquation, tableau...) et représentations (schéma, figure...). Des initiatives fleurissent dans le champ des mathématiques et devraient servir d'exemples, comme la plateforme *S'CAPE* qui propose des Escape Games pédagogiques<sup>119</sup>. Une fois les activités terminées, le comptage des résultats, les schémas de stratégie, les plans d'action, les descriptions de partie et les évaluations des choix de stratégie pourraient devenir des supports privilégiés d'activités mathématiques tout en permettant l'introduction de certains outils élémentaires (calculs, figures, représentation dans l'espace...).

<sup>117</sup> Évolution de l'évaluation de la créativité chez les enfants de Binet à nos jours, Maud Besançon, Baptiste Barbot et Todd Lubart, *Recherches et Éducation*, octobre 2011.

De plus, on pourrait aussi imaginer des manifestations collectives rassemblant des élèves de classes différentes d'un même établissement, voire d'établissements différents. Le succès des *Olympiades nationales de mathématiques* ou du *Concours général des lycées* en sont des illustrations. Grâce au numérique, on pourrait même imaginer que ces compétitions puissent concerner la totalité de la planète et faire se rencontrer les enfants des différents pays. Finalement, pour compléter ces mesures, Philippe Fleury suggère qu'il serait intéressant que les jeunes diplômés de grandes écoles en mathématiques - et, notamment, de l'École Polytechnique - puissent venir transmettre leur passion aux plus jeunes élèves et étudiants dans les salles de classes. En vertu de l'article 14 du décret n°85 - 896 du 16 septembre 1985, les élèves français de l'École polytechnique sont tenus de remplir une obligation de servir de 10 ans auprès d'un corps de l'État ou auprès d'une entité de service public. Pendant quelques années pour les diplômés qui ont bénéficié de la gratuité de leur enseignement, ne pourrait-on pas imposer « un retour d'ascenseur » ? Avant de faire carrière, les néo-diplômés pourraient être tenus d'enseigner les mathématiques ou, mieux, d'animer une « hotline » à destination des professeurs des écoles. Cela serait évidemment complété par quelques mois de formation pédagogique.

En octobre 2020, l'École Polytechnique lançait « *L'Opération Monge* ». Celle-ci vise à ce que l'ensemble des élèves de première année intervienne dans deux lycées pour promouvoir les formations scientifiques et techniques de l'excellence<sup>120</sup>. C'est un bon début, mais plus peut être fait.

<sup>118</sup> La notation chiffrée n'est intervenue dans le système scolaire français qu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle.

<sup>119</sup> Page web de présentation de la plateforme *S'CAPE* : <https://scape.enepe.fr/la-pedagogie-continue.html>

<sup>120</sup> L'X lance l'opération Monge. En ferez-vous partie ?, Lisliere Dantas, Association des anciens élèves et diplômés de l'École polytechnique, 14 octobre 2020 : <https://ax.polytechnique.org/article/l-x-lance-l-operation-monge-en-ferez-vous-partie/14/10/2020/557>

## 3

## Investir plus de temps dans la formation aux mathématiques

**En raison de l'importance des mathématiques dans la révolution numérique que nous vivons au 21<sup>e</sup> siècle, il nous semble primordial d'investir plus de temps dans la formation des mathématiques sans pour autant empiéter sur les autres matières dispensées à l'école.**

Partant de la Recommandation 2, une diminution du temps passé sur les contrôles et l'évaluation des élèves permettrait de libérer du temps pour l'enseignement effectif des mathématiques, qui offrirait 2 à 3 heures hebdomadaires pour étudier les mathématiques pour tous les élèves du tronc commun. Par ailleurs, les outils numériques et d'intelligence artificielle permettant de débarrasser l'enseignant des tâches à faible valeur ajoutée (correction des devoirs, notation...), celui-ci serait en mesure de consacrer plus de temps à la classe. Le logiciel *Kwyk*, par exemple, est précisément dédié à faire gagner du temps aux enseignants ainsi que tirer le bilan du travail de chaque élève et de l'ensemble de la classe. Cet outil permet aussi de diagnostiquer les difficultés rencontrées par les enfants afin de mettre en place des entraînements sur-mesure adaptés aux élèves ayant plus ou moins de facilité, ce qui offre la possibilité de poursuivre leur apprentissage avec plus de satisfaction.

Au-delà du tronc commun de l'enseignement, des goûts et aptitudes se développent chez chacun : artistiques, relationnels, scientifiques, littéraires, pratiques, théoriques, etc. Ceux qui montrent un goût prononcé pour les mathématiques, et ce en général très tôt dans l'enfance, devraient pouvoir être repérés. Or, justement, grâce aux outils basés sur l'intelligence artificielle précédemment mis en

avant, il serait possible de détecter les différents niveaux dès les premières classes à cet effet.

Les « futurs scientifiques », soit les enfants de primaire développant un intérêt pour la matière ainsi que des facilités, pourraient bénéficier à partir du CM1 de 2 heures supplémentaires par semaine afin de renforcer leur motivation, tandis que d'autres pourront choisir un approfondissement plus littéraire, sportif ou artistique. Sans qu'il s'agisse de véritables leçons de cours, ces élèves auraient accès à des activités axées sur les sciences, par exemple en approfondissant la compréhension d'explications que l'on peut trouver dans les revues pour jeunes, les livres de vulgarisation, les vidéos sur le web ou en visitant avec des encadrants des sites ou musées. Cet « enseignement d'approfondissement » serait l'occasion pour ces jeunes enfants de comprendre ce qu'est un résultat scientifique simple, comment l'interpréter, comment lire une formule, un schéma ou un tableau de résultats. À l'inverse, les enfants pourront élaborer eux-mêmes, au sein de petits groupes, la formulation des résultats à partir de leurs observations au cours d'expériences qui pourraient, dans certains cas, aboutir à l'énonciation de propositions mathématiques. Les nombreux outils d'accompagnement pédagogique à disposition des enseignants et des enfants multiplieront de manière exponentielle la variété des observations possibles,

et sensibiliseront les enfants à la détection d'invariants ou à la classification (plantes, animaux, figures, nombres...) et pourrait permettre de révéler le goût intense de certains élèves pour la justification et, à terme, pour la démonstration et l'abstraction.

Pour les futurs « artistes » mathématiciens, plus nombreux qu'on ne le croit, il devrait être possible de pouvoir les former dans des structures appropriées qui nourriront et développeront leur passion, comme pour la musique et le sport. Les classes CHAM<sup>121</sup>, par exemple, sont un élément intéressant qui permet de cultiver l'engouement pour la musique. Ne pourrions-nous pas imaginer ces mêmes classes CHAM, mais avec le 'M' de mathématiques ? Nous proposons donc que les milliers d'enfants émerveillés par cette discipline, et particulièrement doués pour en faire, puissent, à partir du collège, exercer leur don en dehors de l'école dans des « conservatoires de mathématiques » (lesquels pourraient bien évidemment s'élargir à d'autres domaines scientifiques). Tous les après-midi les élèves pourraient y exercer leur passion : en écoutant des exposés (cours en ligne, MOOC, conférences...), en ayant accès à la littérature et les multimédias mathématiques afin d'acquérir une culture universelle et historique de leur discipline, en résolvant des problèmes croissants forçant l'imagination et la production d'hypothèses et de conjectures, en répétant des gammes (exercices réclamant l'acquisition d'automatismes, la mémorisation de procédures et de formules...) afin d'augmenter leur virtuosité mathématique, en travaillant collectivement (et à distance) avec d'autres « passionnés », en prenant l'habitude d'exposer régulièrement, oralement ou par écrit, l'état de leur travail auprès de leur groupe d'étude, et en bénéficiant de tuteurs de niveaux de plus en plus élevés selon des échanciers de plus en plus étalés.

**En résumé tout devra participer à la constitution d'une communauté dont le « quasi-objet », au sens que lui donne Michel Serres, sera la science mathématique. Son but en sera la vitalité de la discipline grâce à la passion et l'émulation de ses membres. Mobilisant tous les outils innovants, existant grâce aux progrès considérables des réseaux, de l'intelligence artificielles, des technologies de visualisation, de partage et de collaboration, l'investissement sera faible face à un bénéfice prometteur : accroître le prestige de cette discipline, l'excellence de l'école mathématique française et le nombre de futurs passionnés.**

# 4

## Travailler contre le décrochage en mathématiques

Si les outils d'intelligence artificielle peuvent détecter le niveau de chaque écolier et orienter les plus doués dans une discipline vers certaines spécialisations, les algorithmes peuvent également être utilisés de l'autre côté du spectre afin de repérer (et récupérer !) les décrocheurs.

À titre d'exemple<sup>122</sup>, la *Commission scolaire du Val-des-Cerfs (CSVDC)* à Montréal, au Canada, a fait l'usage d'un algorithme capable de repérer les élèves les plus susceptibles de se retrouver en situation de décrochage. La CSVDC a utilisé l'historique de 60 000 élèves ayant fréquenté ses établissements depuis 2002, à travers six bases de données, en compilant 300 facteurs<sup>123</sup>. À partir de ces données, le modèle peut « prédire » le risque de décrochage des élèves. En effet, en recoupant ces renseignements, l'algorithme est parvenu à identifier avec un taux de succès de 92 % les élèves de 6<sup>e</sup> année qui allaient décrocher en 3<sup>e</sup> secondaire. Cet outil, conçu pour lutter contre le décrochage en général, pourrait avoir des retombées bénéfiques dans le domaine des mathématiques où le décrochage précoce des élèves est courant. De plus, ces logiciels constituent un moyen d'identifier non seulement les raisons du décrochage en mathématiques mais ce qui mène les enfants curieux des mathématiques dans le primaire à se désintéresser de cette matière au collège. Finalement, le phénomène de décrochage scolaire n'étant ni uniforme ni homogène, apporter une réponse univoque n'est pas envisageable. En outre, offrir aux enseignants des clés de compréhensions et d'actions adaptés au travers de nouveaux outils est essentiel pour mettre en place des solutions d'intervention plus ciblées pour remettre à niveau les décrocheurs.

De plus, sur le plan économique, les coûts associés au décrochage d'un jeune sont estimés à 230 000 euros, cumulés tout au long de sa vie, en dehors des difficultés sociales et économiques majeures qu'il génère. Sachant que ledit logiciel a coûté 20 000 dollars canadiens à la CSVDC, les dépenses engagées donneraient lieu à un fort retour sur investissement. De même, en dépit des dépenses à engager, l'investissement dans l'expérimentation à très grande échelle des méthodes type Montessori devrait présenter une forte rentabilité.

**Au-delà d'un certain investissement financier, Amélia Matar, fondatrice de *COLORI*, indique que « [l'enfant] est sensible à la noblesse des objets qu'on lui propose » et que la formation des professeurs des écoles à la méthode Montessori, « pensée dans une grande complétude », est une « méthode exigeante qui, appliquée partiellement, peut paraître bancale, alors que c'est une structure autoportante ».**

<sup>122</sup> Osans l'IA à l'école, Ugo Cavenaghi, Isabelle Senécal, Château d'encre, 2019.

<sup>123</sup> Les résultats scolaires, l'aide financière, l'absentéisme, les mesures disciplinaires, la fréquence des changements d'adresse.

## 5

## Dépasser les stéréotypes de genre dans l'enseignement des mathématiques

Comme il l'a été mentionné précédemment, de nombreuses études semblent attester de la désaffection des filles pour les filières scientifiques ainsi que de leur moins bonnes performances dans les disciplines mathématiques, qui, comme nous l'avons ciblé, sont l'un des malheureux résultats des stéréotypes de genre. Comment s'y prendre pour révéler le réel potentiel des écolières et attirer les filles vers des filières où les garçons sont surreprésentés ? Pour le sociologue Christian Baudelot, il faut « changer les mentalités des enseignants, des parents, et plus généralement modifier les représentations les plus fréquentes que l'on se fait des disciplines et en particulier des mathématiques »<sup>124</sup>, ce qui n'est pas une mince affaire.

Une première étape dans ce processus serait de former professeurs, encadrants, chefs d'établissements, membres de l'administration, parents d'élèves et élèves eux-mêmes aux impacts des stéréotypes de genre sur l'apprentissage, toutes disciplines confondues. Il est absolument nécessaire qu'un véritable travail de déconstruction et de remise en question soit entrepris par chacune des parties prenantes pour qu'on puisse espérer s'armer contre les biais d'apprentissage et, pourquoi pas, autres types de biais liés au genre. De plus, il est important d'insister auprès des élèves sur l'aspect multidimensionnel de l'intelligence : il faut non seulement sortir de la tête des élèves que les filles ou les garçons sont naturellement « bons » dans certaines disciplines, mais aussi plus globalement que certains élèves sont « naturellement » bons en maths et que

<sup>124</sup> Pourquoi les filles manquent dans les sciences, Les Echos Start, 28 septembre 2016 : <https://start.lesechos.fr/apprendre/universites-ecoles/pourquoi-les-filles-manquent-dans-les-sciences-1178958>.

tout le monde peut faire des progrès en travaillant. Valoriser l'effort de travail et l'amélioration, plutôt que les notes, pourrait également constituer une excellente piste d'amélioration.

En complément, un panel d'actions peut être mis en place à l'échelle des salles de classes, directives pédagogiques ou programmes pédagogiques. En ce qui concerne les examens par exemple, une étude menée par Huguët et Régner dans une grande école d'ingénieurs française a démontré le pouvoir de la consigne pour « redonner confiance » aux étudiantes<sup>125</sup>. Dans le cadre de leur étude, les deux chercheurs ont présenté à deux groupes d'étudiants mixtes un même examen, la seule différence étant que, pour l'un des deux groupes, il était inscrit sur la page de garde du feuillet d'examen : « Dans ce test, il n'y a pas de différence entre les performances entre les hommes et les femmes ». Les résultats ont été concluants : les étudiantes de ce groupe ont obtenu en moyenne de bien meilleurs résultats que leurs camarades féminines de l'autre groupe. Dans le cadre de cette même étude, il avait été démontré que les filles réussissaient mieux leurs exercices de géométrie lorsque ceux-ci étaient qualifiés « d'exercice de dessin ». Il serait donc intéressant d'expérimenter avec les appellations des tâches demandées aux élèves, en convertissant certains termes (« contrôles », « examen », « test », « épreuve », « devoir surveillé... ») ou en enlevant la pression de la note (par exemple en éliminant la moyenne générale, les classements...). Par ailleurs, les exercices d'auto-affirmation semblent être très efficaces dans le cadre des examens pour les filles comme pour les garçons : en poussant les élèves à prendre quelques minutes avant une épreuve pour lister leurs qualités sur un papier, ou pour noter plusieurs fois « Je suis bon en mathématiques », il serait possible de stimuler la confiance en soi des élèves, directement liée à la mémoire de travail et aux performances cognitives.

*Mettre en avant dans les leçons des modèles de réussite féminins pourrait faciliter le processus de projection, qui bénéficierait tant aux filles qu'aux garçons.*

Enfin, mettre en avant dans les leçons des modèles de réussite féminins - que ce soit en sciences, en mathématiques, en histoire ou en littérature - pourrait faciliter le processus de projection, primordial dans le développement social de l'enfant et de l'adolescent, qui bénéficierait tant aux filles qu'aux garçons. Portraits de mathématiciennes et scientifiques historiques ou contemporaines, représentations de davantage de figures féminines dans les manuels scolaires et dans l'iconographie scientifique (par exemple, représenter, une jeune femme avec une calculatrice, une fiole, une équerre...), invitations dans les salles de classes d'ingénieures, de programmeuses et mathématiciennes : nombreuses sont les solutions pour revaloriser l'imaginaire collectif entourant les femmes et autres minorités de genre dans le milieu scientifique et réduire les inégalités fondées sur les stéréotypes de genre dans l'apprentissage des mathématiques et des autres disciplines.

<sup>125</sup> Femmes et sciences : La menace des stéréotypes sociaux de genre, Catherine Thinus-Blanc, Pascal Huguët, Isabelle Régner : [https://www.sfpnet.fr/uploads/tiny\\_mce/JMC13\\_CatherineThinusBlanc.pdf](https://www.sfpnet.fr/uploads/tiny_mce/JMC13_CatherineThinusBlanc.pdf)

## 6

## Repenser la formation (continue) des enseignants

**Inévitablement, qu'il s'agisse d'une évolution du programme ou d'une augmentation du nombre d'heures, d'une remise en question des stéréotypes de genre ou de la façon dont sont dispensées les mathématiques, la formation initiale et continue des enseignants sur le long terme va devoir être repensée pour leur permettre de réinventer leur rôle et redonner goût à cette discipline. Le manque de formation sur les nouvelles pédagogies peut être un obstacle à l'évolution des pratiques enseignantes et pèse sur l'attractivité du métier.**

Sébastien Planchenault, président de l'*Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public (APMEP)*, a mis en avant à l'occasion de nos entretiens que « [la] formation initiale des enseignants n'est pas ce qui va permettre de professionnaliser quelqu'un, c'est un accompagnement long. Lorsqu'on est dans une entreprise, c'est le travail en collaboration avec les collègues qui nous forme et qui nous rend compétents dans la tâche. À l'heure actuelle, dans le système scolaire, on a un concours. Mais, à son issue, il manque un travail de coopération entre pairs. Ce sont des systèmes qui existent dans d'autres pays, qui fonctionnent très bien : en Chine, à Singapour ou autres. C'est primordial. Ce sera beaucoup plus plaisant pour les enseignants, mais aussi pour les élèves ».

Ainsi, il serait intéressant de réserver un créneau fixe - bimensuel ou mensuel - dans l'emploi du temps des enseignants d'une même discipline au sein d'un établissement pour que ces derniers puissent travailler ensemble sur les meilleures pratiques pour dispenser leur matière, et ce d'autant plus avec l'arrivée de nouveaux outils basés sur l'intelligence artificielle, qui auront tendance à diversifier et amplifier leur

rôle. Il serait également souhaitable qu'ils puissent être accompagnés de formateurs et de chercheurs, point sur lequel Sébastien Planchenault insiste : « Il est très important de faire rentrer le monde de la recherche au sein de l'École ».

Ce temps de formation supplémentaire des enseignants pourrait, par ailleurs, être combiné à une légère baisse du temps scolaire ainsi qu'à une augmentation des effectifs, d'autant plus qu'on sait que ce n'est pas le nombre d'heures d'enseignement avec les élèves qui les rend plus performants. En effet, que penser de ces nombreux jeunes enseignants en région parisienne, avec un nombre trop important d'heures supplémentaires, et qui finissent épuisés et sans suffisamment de temps pour bien préparer leurs cours ? Toutefois, le problème de la formation continue est que sa qualité dépend grandement du bon vouloir des enseignants. Lorsque qu'elle ne fait pas partie des obligations professionnelles, la motivation peut avoir tendance à s'essouffler, ce qui est la raison pour laquelle il faudrait une impulsion politique au niveau national pour généraliser ces bonnes pratiques.

Les développements précédents ont montré que le désintérêt croissant des élèves pour l'apprentissage des mathématiques - comme pour d'autres disciplines, dont le français - trouvait son origine dans la perte du sens de cet enseignement. Ainsi, il est primordial que les enseignants en mathématiques cherchent et trouvent, ensemble, des moyens pour rappeler à leurs élèves à quoi cette discipline peut leur servir et ancrer les mathématiques dans leur vie quotidienne. Le président de l'APMEP, Sébastien Planchenault, insistait fortement sur cet aspect dans le cadre de nos entretiens qualitatifs : « Il faut sortir des mathématiques scolaires, de la forme qu'ils ont eue pendant très longtemps. Des enseignants ont une déception, voire une rupture avec les mathématiques. Il faut montrer que les mathématiques peuvent être autres : mathématiques par des résolutions de problèmes, des mathématiques par le sens. Cela pourrait permettre de raccrocher un certain nombre, de redonner plaisir aux mathématiques ». Comme il l'a été précédemment mentionné, ce point serait facilité par la mise en œuvre de notre Recommandation 1, à savoir renforcer l'intérêt pour les mathématiques par des enseignements en intelligence artificielle et en philosophie.

En effet, la nécessité de sortir « la Mathématique » de son superbe isolement, comme discipline dominant toutes les autres sciences, requiert un travail en commun des enseignants en mathématiques, entre eux et avec ceux des autres disciplines.

**Michel Authier encourage notamment les professeurs à fonder les mathématiques avec les autres sciences, en suivant trois axes, de sorte à accompagner l'évolution cognitive de chacun :**

### *1<sup>er</sup> Axe : les sciences du raisonnement*

On apprendrait, à partir de l'âge de raison, à justifier une vérité que l'on veut défendre et où les mathématiques par le calcul, les figures, les proportions, les devinettes, les tests logiques, les casses têtes seraient le terrain d'exercice pour apprendre à mobiliser sa puissance cérébrale, indispensable afin d'argumenter.

### *2<sup>e</sup> Axe : les sciences de l'observation*

Structurant notre rapport au monde, l'usage des statistiques, des graphiques, des équations, des représentations, et de l'imagerie fourniraient les outils pour interpréter et modéliser les résultats des autres sciences (physique, chimie, biologie, économie, sociologie, psychologie, géographie, histoire, linguistique, informatique, et plus particulièrement intelligence artificielle...)

### *3<sup>e</sup> Axe : les sciences de la création*

Initiatrices d'inventions, de sens et d'arts nouveaux, les mathématiques fournissent une infinité de concepts, d'opérateurs, de théories, de modèles qui rendent accessible à la pensée tout ce qui nous est physiquement inaccessible.

Ainsi mêlée au sein des toutes les sciences, la Mathématique apparaît pour ce qu'elle est fondamentalement : l'art de témoigner, de relier, d'orchestrer et d'unifier le rapport (le « logos », disaient les Grecs) de chacun d'entre nous avec les autres, avec le monde, avec l'imaginaire, avec les arts. La façon des professeurs de présenter et ancrer cette discipline dans l'environnement éducatif est fondamentale et appelle à une coopération entre les différents enseignants pour redonner leur plein sens aux mathématiques.

# 7

## **Mettre en œuvre des moyens techniques pour un meilleur accès aux ressources pédagogiques**

Toujours dans l'optique de répandre les meilleures pratiques dans l'enseignement des mathématiques, des moyens techniques doivent être mis en place pour faire remonter l'information au niveau national, au-delà des établissements et collectivités territoriales. À ce titre, nous recommandons de rassembler les diverses initiatives et solutions, ainsi que les associations compétentes, sur une plateforme unique hébergée dans le cloud, à destination des différentes parties prenantes du système éducatif.

Tout d'abord, il faut penser la mise en place d'une plateforme informatique gratuite hébergée dans le cloud qui servirait de base de travail pour les élèves afin qu'ils puissent lire, écrire, développer des algorithmes ainsi qu'utiliser tout un ensemble de logiciels. Cette plateforme pourrait également faire office de lieu d'échange et de remontée d'informations entre les professeurs, chercheurs et autres acteurs du milieu éducatif, qui leur permettrait d'avoir une vision d'ensemble et en temps réel des expérimentations et initiatives en cours. Sans être la solution ultime à notre problématique, cette interconnexion numérique pourrait donner jour à de nouvelles relations interpersonnelles, particulièrement utiles dans l'histoire de l'enseignement des mathématiques, riche d'échanges entre scientifiques. L'objectif serait d'unifier sur un seul et même canal les différentes plateformes existantes qui, actuellement morcelées et éparpillées, perturbent et confondent les enseignants. Si bien qu'occasionnant des coûts lors de son déploiement, le déploiement d'une base de données et d'échanges consolidés permettrait, en plus des avantages susmentionnés, d'économiser les coûts des plateformes jusqu'alors éclatées.

Par la suite, il pourrait être avisé d'inclure à la plateforme un second onglet, rassemblant l'ensemble des associations qui interviennent - directement ou indirectement - dans le domaine des mathématiques. Les synergies ainsi facilitées, le travail des enseignants qui cherchent à mettre à jour leur savoir deviendrait plus aisé. En effet, depuis le confinement, un grand nombre de sites, de groupes ou de plateformes (*Être prof*, *PE maternelle*, *Eduvoices*, *Profs en transition...*) de collectifs d'enseignants en ligne ont le vent en poupe<sup>126</sup>. Par exemple, la plateforme *Être prof* a vu sa fréquentation et son nombre de membres multiplié par deux depuis le premier confinement de mars 2020 et atteint désormais 300 000 utilisateurs actifs et 55 000 membres inscrits.

## Réactivité des membres, partage d'informations et de méthodes pédagogiques ou encore moyen d'échapper au sentiment de solitude sont autant de raisons qui participent au succès de ces collectifs.

Bien que ces derniers ne soient pas centrés sur les mathématiques, l'idée de départ demeure la même : la mutualisation de ces collectifs sur une même plateforme offrirait aux enseignants la possibilité d'avoir à disposition tous les outils pédagogiques nécessaires à la bonne réalisation de leur mission.

Cette idée a été en partie adressée lors des États généraux du numérique de l'Éducation nationale, tenus en novembre 2020. Les propositions 23 ('Généraliser un environnement numérique de travail pour tous les personnels avec des outils de travail collaboratifs'), 24 ('Encourager la mutualisation au niveau national des services numériques développés dans les territoires') et 38 ('Créer un Éducation Data Hub') vont en effet dans le sens que nous préconisons<sup>127</sup>. Nous espérons que ces propositions se concrétiseront et seront renforcées par une mutualisation des plateformes associatives.

<sup>126</sup> Les collectifs d'enseignants en ligne, ou la "salle des profs idéale", Séverin Graveleau, Le Monde, 1er décembre 2020 : [https://www.lemonde.fr/education/article/2020/12/01/les-collectifs-d-enseignants-en-ligne-ou-la-salle-des-profs-ideale\\_6061731\\_1473685.html](https://www.lemonde.fr/education/article/2020/12/01/les-collectifs-d-enseignants-en-ligne-ou-la-salle-des-profs-ideale_6061731_1473685.html).

<sup>127</sup> Page web de présentation des États généraux du numérique pour l'éducation, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports : <https://www.education.gouv.fr/les-etats-generaux-du-numerique-pour-l-education-304117>.



## Mettre en œuvre des actions auprès des entreprises pour assurer un meilleur accès aux ressources matérielles

Le confinement a montré l'importance de la possession d'un ordinateur individuel pour étudier et dispenser des cours à distance. En ce qui concerne la programmation, l'intelligence artificielle et les mathématiques, la question de l'équipement est d'autant plus importante. Dans le précédent livre blanc de la Fondation sur le confinement et la continuité pédagogique, qui a étudié le potentiel du numérique éducatif lors du confinement, nous avons pu souligner que le nombre d'élèves n'ayant pas accès à un ordinateur chez eux était estimé à 500 000 en France<sup>128</sup>. Jean-Marc Merriaux, directeur du Numérique pour l'Éducation au ministère de l'Éducation nationale, y déclarait qu'il était « indispensable de mettre en œuvre des politiques publiques destinées à résorber la fracture numérique »<sup>129</sup>.

<sup>128</sup> Confinement et continuité pédagogique : Ce que la crise sanitaire révèle du potentiel du numérique éducatif, Fondation l'IA pour l'école, Institut de France, octobre 2020 : <https://iapourlecole.fr/livre-blanc-confinement-continuite-pedagogique/>.

<sup>129</sup> Ibid.

Les collectivités locales se sont empressées d'occuper le terrain, à l'image de la politique d'équipement de Valérie Pécresse en Île-de-France<sup>130</sup>. Or, il se trouve que, à intervalle régulier, les entreprises renouvellent leur parc informatique pour des raisons de productivité plutôt que de maintenir ou mettre à niveau leurs matériels. Une structure efficace de récupération et de rénovation de ce parc obsolète pourrait ainsi permettre d'équiper les élèves qui en ont besoin, tout en réduisant l'empreinte écologique des entreprises. De tels circuits existent déjà, grâce à l'engagement d'un maillage associatif très riche. Le ministère des Solidarités et de la Santé a récemment mis en place la plateforme *Des Ordis pour nos enfants*, qui permet de mettre directement en relation les entreprises et les associations œuvrant sur le terrain<sup>131</sup>. Une carte interactive renseigne, en temps réel, les besoins de chaque association. Les entreprises peuvent alors trouver une association à proximité, et ainsi aider des centaines d'élèves défavorisés à récupérer un ordinateur.

Nous devrions davantage encourager ce type d'initiative et les rendre plus visibles auprès des entreprises et du public. Selon un sondage IFOP de septembre 2016, 51 % des Français considèrent qu'une entreprise doit être utile avant tout pour la société dans son ensemble, plutôt que pour ses clients (34 %), ses collaborateurs (12 %), ou ses actionnaires (3 %)<sup>132</sup>. Ainsi, même pour les entreprises, il y aurait un avantage réputationnel à participer à ce type d'initiatives bénéfiques pour l'éducation de tous ! Toutefois, la disponibilité du matériel informatique n'est pas suffisante. La mise en œuvre des relations informatiques suppose aussi l'utilisation des réseaux de télécommunications. Or le coût des abonnements peut parfois se révéler dissuasif. Une discrimination des utilisations, au profit des usages de formation ou d'éducation devrait ainsi également être mise en place pour inciter les plus défavorisés à se connecter.

<sup>130</sup> Valérie Pécresse, Présidente de la Région Île-de-France, lors du Grand Entretien de France Inter le lundi 31 août : <https://www.franceinter.fr/emissions/l-invite-de-8h20-le-grand-entretien/l-invite-de-8h20-le-grand-entretien-3>.

<sup>131</sup> Page de présentation de la plateforme *Des ordis pour nos enfants*, Ministère des solidarités et de la santé : <https://www.desordispournosenfants.fr>.

<sup>132</sup> Plus l'entreprise est perçue comme utile, meilleure est sa réputation, enquête de l'IFOP pour Terre de Siècle, 27 septembre 2016 : <https://www.ifop.com/publication/entretien-du-mois-plus-l'entreprise-est-percue-comme-utile-meilleure-est-sa-reputation/>.

# Conclusion

---

(N'admette rien) sans  
preuve, qu'il n'acquiesce  
point à des notions  
trompeuses et qu'il pose  
exactement les limites du  
certain, du probable  
et du douteux.

Denis  
Diderot

Lettre à Sophie Volland,  
26 septembre 1762

---

**N**ous sommes passés brutalement d'un monde analogique à un monde numérique. Ce constat devrait nous conduire à revoir la nature et la variété des mathématiques enseignées. Au travers de ces pages, nous avons pu mettre en avant diverses pistes de réflexions à ce sujet. Au-delà, ces constats nous ont montré l'importante complémentarité entre les mathématiques, la pensée informatique, l'intelligence artificielle et la résolution de problèmes. Ne perdons pas non plus de vue la dimension éthique des multiples impacts de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'éducation. Le système éducatif aura un rôle éminent à jouer dans l'appropriation des technologies basées sur l'intelligence artificielle afin de préparer les élèves à en contrôler l'usage. Le système éducatif doit être prêt à exercer ce rôle supplémentaire. Il faudra former les enseignants en mathématiques qui devraient voir leur rôle se diversifier et s'amplifier, tout en rappelant que l'intelligence artificielle ne pourra jamais se substituer à eux. Notons que la formation initiale est nécessaire mais qu'elle n'est pas suffisante, il faudra la compléter par une formation continue permettant de maintenir, voire de développer, la culture scientifique acquise. Les mathématiques ont des résonances artistiques que les mathématiciens connaissent bien. Il serait dommage que les techniques acquises ne puissent être exercées tant la vérité et la beauté sont, comme le souligne Platon, consubstantielles aux mathématiques.

Un important chemin a été parcouru depuis la parution des recherches des années 1990 sur la psychologie de l'apprentissage des mathématiques, ayant tendu à montrer l'effet des interventions explicites des adultes sur l'éducation des enfants. Cette réflexion a permis de mettre en lumière les différentes influences extérieures qui jouent sur l'apprentissage et la perception des mathématiques chez les élèves et replace au centre du débat la perception qu'en ont les élèves, notamment les jeunes filles. Au cours de ces développements, nous avons mis en avant notre croyance profonde en un enseignement des mathématiques plus universel, plus effectif et surtout plus attractif pour les élèves.

Concernant l'apprentissage des mathématiques, la question de l'intégration d'outils basés sur l'intelligence artificielle constitue une question majeure et d'actualité. Elle répond à des enjeux importants au regard des objectifs de compétitivité de la France. C'est pourquoi mettre en œuvre des moyens financiers et humains dans la formation des futurs mathématiciens, créateurs et artistes de l'intelligence artificielle, est crucial. Le système éducatif doit se renouveler et offrir de véritables clés aux élèves pour leur permettre d'appréhender leur avenir. La question de la motivation des élèves et du décrochage scolaire est également centrale. Enfin, la qualité de l'environnement pédagogique, et son impact sur la réussite des élèves, ne doit plus être négligée. Si ledit environnement n'est pas adapté et ne tient pas compte des dernières avancées didactiques et pédagogiques, les enfants risquent de se retrouver dans un cadre freinant leur épanouissement intellectuel.

**Le XXI<sup>e</sup> siècle pourrait-il devenir un nouveau siècle des Lumières en France, avec Internet, Web et Intelligence Artificielle comme autant de prolongements de l'Encyclopédie ? Sans doute ! Mais à condition que, comme le soulignait déjà Diderot, le citoyen devienne éclairé, formé par une éducation renouvelée :**

**« ... (N'admette rien) sans preuve, qu'il n'acquiesce point à des notions trompeuses et qu'il pose exactement les limites du certain, du probable et du douteux. ».**

**Denis Diderot**, *Lettre à Sophie Volland*,  
26 septembre 1762.











FONDATION  
**L'IA POUR L'ÉCOLE**  
INSTITUT DE FRANCE

# Découvrez comment l'IA transforme les apprentissages



La fondation l'IA pour l'École accompagne bénévolement les équipes éducatives, les élèves et les parents à travers de nombreuses actions.

**N'hésitez pas à nous contacter**

**Fondation l'Intelligence  
Artificielle pour l'école**  
23 Quai de Conti, 75006 Paris

+33 1 46 37 54 36  
contact@iapourlecole.fr  
www.iapourlecole.fr