

PHYSIQUE ET APPLICATIONS DES MATHÉMATIQUES

Bernard Vuilleumier
Collège et École de commerce Nicolas-Bouvier

Avertissement de l'auteur

Une des idées maîtresses de cet article est que l'époque actuelle est marquée par une transition vers l'ère du numérique, affirmation dont les moyens traditionnels de l'ère de l'imprimerie ne facilite cependant pas la démonstration. C'est pourquoi nous renvoyons aussi le lecteur à la version originelle de cette contribution à l'adresse <http://www.owl-ge.ch/spip.php?article2820>. En effet, en note 1 et 2, pour des raisons techniques évidentes, le texte-ci-dessous ne reprend pas les deux illustrations dynamiques apparaissant dans notre article en ligne mais seulement leur commentaire. Cette version papier de notre intervention ne permet pas non plus d'utiliser les différents liens hypertexte figurant dans le document en ligne, qui sont ici simplement soulignés (ex. nouvelle science).

Un regard sur l'évolution de la physique

Physique et mathématiques : un mariage fécond

On peut considérer Galilée comme le père fondateur de la physique mathématique. Son postulat était : « la nature est écrite en langage mathématique ». Depuis le XVI^e siècle, la physique n'a fait que renforcer ses liens avec les mathématiques. Et si l'on considère aujourd'hui que ce sont les modèles décrivant le réel qui sont écrits en langage mathématique plutôt que la nature elle-même, il n'en demeure pas moins que l'intuition de Galilée était très profonde. Elle a véritablement ouvert la voie à *l'observation*, à *l'expérimentation*.

tation et à l'utilisation des nombres et de leurs relations dans la description du réel¹.

La mise au point des outils

Au XVIII^e siècle, Newton et Leibniz mettent au point les outils mathématiques qui permettent, entre autres, d'appréhender le mouvement. Ces outils – calcul différentiel et intégral – ont joué un rôle majeur durant trois siècles. Ils ont probablement conditionné le développement des sciences et occupent, à juste titre, une place de choix dans la formation gymnasiale. Mais aujourd'hui, des scientifiques s'interrogent : la physique mathématique n'est-elle pas restée prisonnière de ces outils ? Certains pensent même que des *approches différentes*, utilisant des programmes informatiques très élémentaires, pourraient amener un changement de paradigme. Le physicien Stephen Wolfram, par exemple, se demande si toute la richesse du monde physique ne pourrait pas émerger de règles très simples. Cette nouvelle science ne fait pas encore partie des programmes, mais avec l'arrivée des ordinateurs, elle annonce l'ère du numérique².

¹ C'est ainsi, par exemple, qu'en appliquant une transformation affine du plan aux quatre sommets d'un carré, on obtient un parallélogramme. L'effet de la transformation dépend de quatre coefficients qu'on peut modifier en agissant sur ces sommets, et de deux translations, l'une selon l'axe horizontal et l'autre selon l'axe vertical. Elle est donc complètement déterminée par six nombres. En appliquant une deuxième, puis une troisième transformation, on obtient au total trois parallélogrammes. L'image qui se dessine est le résultat de l'application répétée de ces trois transformations à l'image précédente. En augmentant ce nombre d'itérations, on obtient une image qui évoque une forme naturelle. Le fait remarquable est que cette image complexe est entièrement définie par 18 nombres (3 transformations affines du plan) et qu'elle ne dépend pas de l'image initiale : si nous étions partis non pas d'un carré, mais d'un seul point ou de n'importe quelle autre figure, nous obtiendrions toujours, après un grand nombre d'itérations, la même forme naturelle ! (voir, à l'adresse <http://www.owl-ge.ch/spip.php?article2820>, l'illustration animée intitulée *La nature se laisse décrire par les mathématiques*).

² Grâce aux nouvelles technologies, les notions de fonction, dérivée et intégrale, qui sont centrales tant en mathématiques qu'en physique, peuvent être illustrées d'une manière interactive. Dans la discipline « applications des mathématiques », on cherche souvent une fonction $f(x)$ capable de rendre compte d'un ensemble de points de mesure. Étonnamment, il est possible d'inférer plusieurs propriétés de la fonction à partir de ces points : le polynôme qui passe « au mieux » par ces points ; son intégrale définie entre a et b ; sa valeur et la valeur de ses dérivées successives en différents points. Dans chaque cas, on peut voir la formule utilisée pour obtenir ces résultats (cf. à l'adresse <http://www.owl-ge.ch/spip.php?article2820>, l'illustration animée intitulée *Fonction, dérivée et intégrale*).

L'ère du numérique

Si l'approche des sciences par «automates cellulaires»³ que préconise Wolfram n'est pas encore présente dans l'enseignement gymnasial, les ordinateurs et le web, eux, y ont fait leur apparition depuis longtemps déjà ! C'est le physicien Tim Berners Lee qui, lorsqu'il travaillait au CERN, inventa le web en associant l'idée de l'hypertexte aux *technologies de la communication en réseau*. Les possibilités d'apprentissage, de partage et de collaboration offertes par cet outil sont énormes. Ces technologies joueront très probablement un rôle de premier plan dans l'évolution de l'enseignement.

Difficultés et risques

La physique et les applications des mathématiques, en recourant à l'informatique, s'inscrivent dans l'ère du numérique. On pourrait craindre qu'aux difficultés d'apprentissage des concepts propres à ces disciplines s'ajoutent celles de l'utilisation et de la maîtrise des outils informatiques idoines. On pourrait aussi redouter que l'intrusion de la réalité virtuelle et des simulations dans ces enseignements ne leur nuise. Mes convictions me portent au contraire à croire que les technologies de l'information et de la communication sont non seulement en mesure d'enrichir ces disciplines et de les rendre plus attrayantes, mais également de renouveler en profondeur leur apprentissage.

Convictions

La société est entrée dans l'ère du numérique. Le système éducatif doit-il résister ou s'adapter ? Je pense qu'il doit non seulement s'adapter, mais encore essayer d'anticiper cette évolution. Comment ? En convainquant toutes celles et

³ Par «automate cellulaire» on entend un ensemble de cellules semblables aux cases d'un échiquier et qui peuvent prendre plusieurs états caractérisés par des nombres (0 et 1 dans le cas le plus simple). L'état d'une cellule évolue en fonction de celui de ses voisines. L'automate cellulaire est l'unité de base des réseaux d'automates, qui sont des procédés informatiques utilisés entre autres pour modéliser le fonctionnement du cerveau. Comme la cellule biologique, l'automate cellulaire peut être relié à de nombreux autres automates, de même qu'un neurone possède plusieurs jonctions synaptiques qui le mettent en contact avec d'autres neurones.

ceux qui se sentent concerné(e)s et qui souhaitent voir l'école réussir sa transition vers le numérique⁴, qu'il faut :

- continuer à se former en permanence ;
- utiliser les technologies numériques avec les élèves ;
- entretenir son « *shifting character* »⁵.

La physique et les applications des mathématiques sont parties prenantes de l'ère du numérique. Elles doivent s'appuyer sur des coopérations et des mutualisations intra- et inter-établissements pour partager des ressources. Elles peuvent aussi, par l'accès privilégié qu'elles ont aux salles équipées d'ordinateurs, mettre en évidence le rôle des technologies de l'information et de la communication (ci-après TIC) dans la valorisation des sciences. Elles contribueront ainsi

⁴ Un rapport du 5 février 2010 de la mission parlementaire de Jean-Michel Fourgous sur la modernisation de l'école par le numérique préconise les 12 priorités suivantes pour réussir cette transition :

- Priorité 1 – Connecter et équiper les écoles au numérique ;
- Priorité 2 – Former les enseignants et les cadres pour transformer les pratiques ;
- Priorité 3 – Faciliter l'utilisation des ressources numériques. Créer de nouveaux supports interactifs et des manuels numériques innovants. Faciliter l'utilisation des ressources numériques ;
- Priorité 4 – Développer les espaces numériques de travail (ENT) ;
- Priorité 5 – Généraliser les équipements pour l'apprentissage des langues et des sciences expérimentales ;
- Priorité 6 – Préparer aux métiers de demain en développant la culture de l'informatique et des outils numériques ;
- Priorité 7 – Développer la créativité, la confiance en soi et l'autonomie par les outils numériques ;
- Priorité 8 – Éduquer au numérique pour responsabiliser les élèves et les adultes face aux enjeux de la société numérique ;
- Priorité 9 – Prolonger le temps de l'école par le numérique et favoriser l'égalité des chances et la réussite scolaire ;
- Priorité 10 – Renforcer l'autonomie des établissements scolaires pour développer les services numériques et l'éco-citoyenneté ;
- Priorité 11 – Mieux piloter le développement du numérique à l'école ;
- Priorité 12 – Médiatiser les enjeux du numérique en valorisant le travail des enseignants.

⁵ Qu'est-ce que le « *shifting character* » ? Bachelard a emprunté ce terme au comte Alfred Korsybski pour qui le *shifting character* consiste en la faculté de lier des événements de pensée, de se libérer de certaines habitudes, de rompre le déterminisme cérébral. Pour Bachelard, « tout éducateur qui voit baisser son *shifting character* doit être mis à la retraite. Il est impossible d'éduquer par simple référence à un passé d'éducation. Le maître doit apprendre en enseignant, hors de son enseignement. Fût-il très instruit, sans un *shifting character* en exercice il ne peut donner l'expérience de l'ouverture ».

à une évolution des pratiques pédagogiques⁶ en offrant, avec les TIC, de l'interactivité, de la disponibilité et du soutien aux étudiants.

Interrogations et préoccupations

En 2001, le Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement (CERI) de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) élaborait six scénarios⁷ sur l'avenir de l'École à l'horizon de 15-20 ans dans les pays industrialisés. Ces scénarios ont été établis sans visée normative. Toutefois, une rapide enquête auprès d'une cinquantaine d'experts internationaux présents au colloque de Rotterdam sur «L'École de demain» (novembre 2000) a montré que les scénarios les plus probables étaient ceux :

- du «prolongement du statu quo», constaté jusqu'ici dans la plupart des pays. Les systèmes éducatifs résistent à des changements radicaux. Une régulation de type bureaucratique continue à prévaloir. La révision cyclique des programmes d'enseignement, l'utilisation croissante des TIC et diverses réformes partielles ne parviennent pas à réduire les tensions ni les inégalités sociales ;

⁶ Exemple d'évolution des pratiques : le Danemark a décidé récemment d'autoriser l'accès à Internet aux étudiants lors de leurs examens de fin d'année.

⁷ Six scénarios sur l'École :

- Le premier scénario est celui du prolongement du statu quo qui, malgré quelques ajustements à la marge, se traduit par une dégradation générale de L'École.
- Le scénario 2, dénommé «L'extension du modèle du marché», montre les conséquences qui pourraient résulter d'une privatisation au moins partielle de l'institution scolaire, donc finalement d'une dualisation plus marquée entre le public et le privé.
- Le scénario 3, appelé «L'École au cœur de la collectivité», correspond, au contraire, à l'idée que l'éducation est un bien public, et décrit un renouveau de L'École comme principale institution citoyenne.
- Le scénario 4, «L'École comme organisation apprenante ciblée», répond aussi à ce besoin de revalorisation du rôle et du prestige de l'École, tout en mettant davantage l'accent sur sa responsabilité dans le développement du savoir et des compétences.
- Le scénario 5 des «Réseaux d'apprenants» au sein d'une société en réseau se caractérise par l'éclatement des systèmes éducatifs nationaux, le déclin du rôle des pouvoirs publics et l'avènement, simultanément, de systèmes scolaires locaux et de grands réseaux.
- Le scénario 6 est intitulé, de manière fort éloquente, «Exode des enseignants et désintégration». Il se traduit par une dégradation de l'institution et par un mécontentement général notamment des parents et des enseignants.

- de «L'École comme organisation apprenante ciblée». L'expérimentation et l'innovation deviennent la norme. Les TIC sont utilisées avec pertinence dans des contextes organisationnels les prenant en compte. Les enseignants et autres personnels d'éducation travaillent davantage en équipes et avec des partenaires extérieurs. Le caractère de « bien public » de l'éducation est reconnu et celle-ci est une priorité politique, y compris en termes budgétaires. L'évaluation des acquis des élèves s'efforce de prendre en compte une plus grande diversité de compétences et elle devient davantage à visée formative.

L'évolution constatée ces dix dernières années me semble plus proche du prolongement du statu quo que de l'émergence d'une « organisation apprenante ciblée » et on peut craindre l'extension du « modèle du marché ». Plus grave encore, le nombre d'étudiants en sciences est en diminution⁸ dans les pays industrialisés et l'option spécifique « physique et applications des mathématiques » du Collège de Genève attire de moins en moins d'élèves ! Face à ces changements, les nouvelles technologies pourraient être utilisées pour multiplier les lieux d'apprentissage, offrir en ligne des services non contraints par des horaires, faciliter la mise en réseau d'un grand nombre d'acteurs et contribuer à redorer le blason de ce domaine d'étude qui en a un urgent besoin.

Pour conclure, voici deux questions que Dale Spender posait en 1996 déjà dans *Creativity and the Computer Education*, qui sont toujours d'actualité et qui se font de plus en plus pressantes :

Si chaque étudiant possédait son propre ordinateur portable et pouvait accéder à Internet depuis la maison ou depuis un endroit public, aurait-il encore besoin de venir à l'école ? Et s'il y venait, quel devrait être alors le rôle de l'enseignant dans ces circonstances ?

Je pense que les enseignants éprouveront bientôt autant d'enthousiasme à captiver et à intéresser l'audience que les artistes, faute de quoi, ils pourraient bien être chargés d'assister des étudiants qui suivent des cours élaborés par d'autres. Soyons clair, pour le moment, le poste le plus important du budget de l'éducation est le salaire des enseignants. De combien de professeurs avons-nous réellement besoin ?

Mais la formation humaniste n'a peut-être pas à se poser ce type de questions ?

⁸ Voir Département fédéral de l'intérieur (DFI), Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER), Analyse et prospective, *Évolution du nombre d'étudiants en sciences exactes et naturelles en Suisse*, Berne, 2006.