



Le Président-directeur général

Note de synthèse Inria « mission mathématiques »

23 novembre 2017

Destinataires : Cédric.Villani@assemblee-nationale.fr et Charles.Torossian@education.gouv.fr a.b.s. mission.maths@education.gouv.fr (demande de Bertrand Cavayé Secrétaire général de la mission mathématiques 01 55 55 17 65, bertrand.cavaye@education.gouv.fr)

Contexte : Le ministre Jean-Michel Blanquer a confié à CV et CT une mission sur l'amélioration de l'enseignement des mathématiques de l'école primaire au lycée.

Introduction

L'informatique est à la fois une science, une technologie, une industrie et une culture. En tant que science, elle est en intersection avec les mathématiques quand elle utilise de l'algèbre ou manipule des calculs, mais possède ses propres concepts et paradigmes (par exemple au niveau du codage de l'information). Cette science du numérique permet aussi de développer les sciences numériques (en bref : modélisation, simulation, et optimisation). En tant que technologie, le fait qu'elle soit principalement dématérialisée raccourcit fortement la boucle de conception, développement, réalisation, reconception, et facilite l'accès à ces outils et méthodes. En tant que domaine industriel, c'est l'innovation qui en constitue la composante principale, de par le fait par exemple que les coûts marginaux de production sont négligeables (hormis le matériel). En tant que culture, on sait combien le monde numérique et l'introduction de la pensée informatique dans notre quotidien bouleversent le rapport au monde et aux autres.

Implications de l'enseignement de l'informatique en mathématiques

L'interaction entre les mathématiques et l'informatique a plusieurs conséquences vertueuses. Elle offre une porte d'entrée alternative aux sciences formelles pour les jeunes, une double fertilisation pour structurer la pensée, à condition de bien distinguer ce qui relève de la discipline informatique. On constate sur le terrain que pour les jeunes en difficulté cela constitue une seconde chance (« je ne suis pas bon en math mais je me rattrape en informatique »).

Dans l'enseignement des mathématiques elles-mêmes, les outils numériques permettent d'apprendre de manière manipulative des concepts théoriques, par le « faire ». Cette pédagogie, en lien avec le constructivisme moderne, concerne la manipulation numérique de représentations d'objets mathématiques, mais aussi de manipulations physiques via le développement d'activités débranchées (activités didactiques avec des objets du quotidien métaphores d'objets informatiques, et pourquoi pas mathématiques, par exemple sous forme de jeux pédagogiques collectifs).

Au-delà des outils, la pensée informatique permet aussi de mieux appréhender les concepts mathématiques, par exemple en distinguant ce qui relève de l'exécution mécanique d'un algorithme (ex: un calcul algébrique en appliquant des règles) d'une réflexion plus vaste au niveau cognitif (ex : un raisonnement géométrique), ou encore au niveau de la représentation de l'information (lien entre type de données et structures sous-jacentes).

Le travail avec des outils numériques change le rapport de l'apprenant aux savoir-faire et savoirs qu'il doit acquérir : l'ordinateur ne juge pas et il a toujours le droit de « rejouer » ; cela développe la persévérance et permet de passer de la notion d'échec à celle de la pédagogie de l'erreur (« je me suis trompé, ce n'est pas grave, cela signifie que je suis en train d'acquérir quelque chose de nouveau et pas uniquement de rester sur mes acquis »). Pour profiter de cela il faut bien entendu ne pas simplement consommer le logiciel informatique mais avoir une vision éclairée (démystifiée) de son fonctionnement.

On ne détaillera pas ici les autres éléments plus évidents : illustration convaincante de l'applicabilité des mathématiques utilisées dans les technologies numériques (donc de leur utilité), ou liés aux usages du numérique : le fait que la diversité des supports d'apprentissage mixant l'image, le son, la vidéo et l'animation renforcent l'ancrage des apprentissages, facilitent la mémorisation et l'acquisition de connaissances et de compétences. On sait que l'efficacité de l'enseignant sera renforcée grâce aux outils de suivi fin des élèves et de personnalisation des contenus et des apprentissages.

Rappeler finalement la nécessité absolue de former les enseignant.e.s aux fondamentaux numériques relève de l'évidence. Ce qu'il faut noter est que cette formation des professionnel.le.s de l'éducation est tout autant une formation aux nouvelles pédagogies qu'aux contenus en question : apprentissage par projet, référentiels exprimés sous forme de compétences incluant aussi savoir être et savoir devenir. Pour cela, on peut s'appuyer sur le projet Class'Code qui avec plus de 40 000 personnes ayant profité de cette formation ouverte la première année fait office de référence sur ces sujets.

Interactions avec le domaine des EdTech en mathématiques et au-delà

La France est riche d'un tissu d'entreprises très innovantes, ouvertes à l'international, qui produisent à la fois des ressources mais aussi de nouveaux paradigmes didactiques. Elles se structurent en ce moment, par exemple avec le cluster d'entreprises [AFINEF](#) qui vient de lancer une lettre ouverte¹ ou encore le lancement récent par des entrepreneurs de [EdTech France](#), ou sur les territoires avec par exemple [EducAzur](#) rassemblant la richesse de l'écosystème de l'éducation et de la formation). Inria est présent dans trois consortiums d'entreprises différentes qui ont répondu à l'appel d'offre (marché public MEN-SG-PCAN-17033) relatif au partenariat d'innovation pour l'acquisition d'un assistant pédagogique basé sur l'intelligence artificielle à destination des enseignants et des élèves dans lequel il y a un volet apprentissage du français et des mathématiques.

L'interaction de l'éducation nationale avec les entreprises présente plusieurs enjeux.

¹ L'Éducation en France au temps des Lumières numériques

Celui de la maîtrise de la pédagogie avec le risque qu'elle ne se crée finalement plus dans l'éducation nationale mais à travers l'ingénierie de ces entreprises (pour les manuels scolaires, c'est déjà le cas quand les mathématiques en primaire s'apprennent à travers des « cahiers » qui ressemblent à des cahiers de vacances, cela au détriment d'une vraie pédagogie de recherche). Pour que ce risque se transforme en opportunité il faut à la fois former tous les enseignants aux EdTech pour qu'il comprennent leur fonctionnement, leurs potentialités et leurs limites, et aussi imposer aux dits ingénieurs pédagogiques, une véritable formation à la pédagogie. Il faut également que l'éducation nationale, et les enseignants eux-mêmes, soient décisionnaires dans les choix de matériels et de logiciels, bien que cela relève des autorités territoriales.

Un autre enjeu majeur est celui du développement économique du secteur. Sera-t-il aux mains des géants du numérique ou des entreprises européennes diversifiées ? Si aujourd'hui on dépense environ 1 euro par an et par élève au niveau des EdTechs (30 fois moins que les outils papier), on va assister à une augmentation d'échelle et à ce jour les plus gros investissements n'ont pas bénéficié aux emplois nationaux. Pour rétablir ce déséquilibre de taille, il faut aujourd'hui récuser les plateformes qui ne permettent pas le partage de ressources ouvertes (cela devrait par exemple conduire à rejeter le modèle économique que tente d'imposer Apple, qui entrave la libre concurrence) et donner une véritable chance aux acteurs qui jouent le jeu des ressources libres et réutilisables (comme par exemple OpenClassrooms ou Class'Code).

Insister sur l'importance des acteurs étrangers dans le monde du numérique (cf GAFAM et la Chine) ne relève pas de la défense d'une vision « village gaulois » mais de la prise de conscience que, par exemple en termes de confidentialité des données d'apprentissage collectées pendant l'utilisation de ces outils, les cultures et les législations ne sont pas les mêmes en France et en Amérique du Nord, ou encore en Chine.

Ainsi, on détient ici la possibilité de créer des biens communs libres et ouverts au sens des licences dites «creative-commons» de la plus haute qualité puis de les repartager avec le plus grand nombre, à coût marginal nul ; c'est un enjeu planétaire d'éducation pour toutes et tous. C'est également un levier pour mettre à disposition de toutes les populations les meilleurs enseignements possibles malgré la nécessité de parcimonie des investissements publics, puisqu'il y a là un vrai passage à l'échelle à coût constant. L'intérêt de ces EdTech pour lutter à la fois contre le décrochage scolaire de certains élèves est démontré, mais c'est aussi un remède probable contre la démotivation de certains enseignants qui peuvent y retrouver du plaisir à enseigner. Ces enjeux sociétaux doivent primer sur les enjeux d'intérêts.

Un autre enjeu concerne les processus d'évaluation des ressources plurimédia ou interactives. On rencontre souvent l'expression « des études montrent que ... » ; malheureusement, à leur lecture, il est facile de constater que l'utilisation de leurs résultats s'avère souvent décontextualisé, ou non pertinent, voire qu'elles sont reliées à des enjeux marketing. Le domaine des sciences de l'éducation doit être fortement mis à contribution, pour se construire une vision collective sans biais, et la nature même de ses outils numériques basés sur de l'informatique très sophistiquée impose un travail pluridisciplinaire.

Aide personnalisée d'assistants numériques utilisant du machine learning

Rappelons d'abord que ce champ est loin d'être nouveau. Pour ne citer qu'un exemple, Educlever a développé depuis des années Maxicours ce qui lui a permis de participer à la conception d'une solution "[Cartographie des Savoirs](#)" et un outil d'apprentissage des mathématiques en cycle primaire qui peut mesurer le pourquoi des échecs et de renvoyer sur les fondamentaux non acquis en se basant sur des ontologies et du raisonnement fondé sur l'analyse des erreurs sur les exercices. Si une telle cartographie devient la référence commune implémentée comme un "portail web" alors on peut imaginer la création d'un écosystème (apprenant, enseignant, entreprises, chercheurs) développant des nombreux outils, contenus et pratiques liés par des outils de recherche d'information (search) couplés à des techniques de machine learning sur les traces générées en lien avec les parcours d'apprenants. La reconnaissance par le ministère de l'utilité d'une telle cartographie (voire en faire une référence) sera primordiale pour la création de l'écosystème et la création de valeur. Mais il est clair que le point clé sera le traitement de la "privacy" ; c'est justement un des sujets du labo commun Qwant-Inria. Et dernier exemple, le travail de l'équipe-projet Inria Flowers dans le projet [Kidlearn](#), démontre de manière smart au sens anglais (astucieux et intelligent) et français (respectueux de la personne apprenante et bienveillant), qu'il existe de vraies solutions qui peuvent changer qualitativement et quantitativement les résultats en termes de performance éducative (à la fois au niveau de la motivation des jeunes devant une approche ludique et de la pertinence des contenus proposés).

De tels assistants numériques peuvent non seulement interagir individuellement pour optimiser l'apprentissage de savoir ou valider l'apprentissage de savoir-faire, mais pourraient aussi jouer un rôle dans des apprentissages collectifs par exemple au sein de cxs-MOOC. Cette mutation en terme d'outils et de paradigme est avant tout un moyen pour travailler avec de nouvelles pédagogies ou, plus exactement, pour mettre en œuvre les meilleures pédagogies participatives que nous connaissons (à la Freinet ou Montessori, pour simplifier) à très grande échelle au lieu de rester limité à des lieux privilégiés (faibles effectifs, enseignants formés pour).

En matière de pédagogie différenciée ces assistants numériques peuvent évidemment s'adapter à l'enfant apprenant mais aussi permettre à l'enseignant de placer ses élèves collectivement en autonomie pour se consacrer à des approches individuelles ou à un tout petit groupe. L'enseignement de l'informatique est en avance sur ce sujet puisqu'il existe aujourd'hui des assistants numériques qui peuvent nous guider dans l'apprentissage du code par exemple sur la plate-forme FranceIOI .

Il faut finalement affirmer l'absolue nécessité de démystifier ce qu'on appelle improprement l'intelligence artificielle et affirmer l'impossibilité de diffuser de tels outils sans avoir au préalable pu associer des enseignants à leur conception, leur développement et leur validation réelle, in situ, (pas de génération spontanée dans ce domaine) puis, former suffisamment les enseignants pour qu'ils puissent les maîtriser et les comprendre et pas uniquement les consommer.