

Éducation et numérique, Défis et enjeux

Gérard Giraudon, Pascal Guitton, Margarida Romero, Didier Roy, Thierry Viéville

▶ **To cite this version:**

Gérard Giraudon, Pascal Guitton, Margarida Romero, Didier Roy, Thierry Viéville. Éducation et numérique, Défis et enjeux. Inria, pp.137, 2020, Livre Blanc Inria N° 04. hal-03051329v2

HAL Id: hal-03051329
https://inria.hal.science/hal-03051329v2

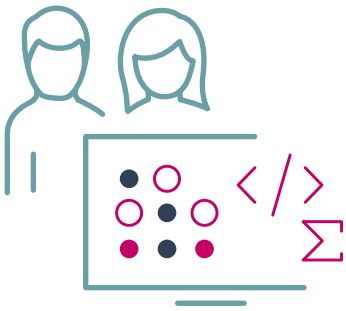
Submitted on 4 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Éducation et numérique

Défis et enjeux



Inria | LIVRE BLANC | N°04

Éducation et numérique
Défis et enjeux

Les livres blancs d'Inria examinent les grands défis actuels posés par le numérique et présentent les actions menées par nos équipes-projets pour les résoudre. Ils ont pour objectif de faire le point sur une problématique en précisant ses complexités, en détaillant les voies de recherches existantes ou en émergence et en décrivant les impacts sociétaux attendus et à prévoir.

Éditeurs
Gérard Giraudon (Inria) – Pascal Guitton (Inria & Université de Bordeaux)
Margarida Romero (Université Côte d'Azur) – Didier Roy (Inria & Learn EPFL)
Thierry Viéville (Inria).

Corédacteurs
Gilles Dowek (Inria & ENS Paris-Saclay) - Fabien Gandon (Inria) - Marc Schoenauer (Inria)

Relecteurs et contributeurs
Frédéric Alexandre (Inria) - Francis Bach (Inria) - Anne Boyer (Université de Lorraine) Bertrand Braunschweig (Inria) - Marie-Claire Forgue (Ercim/W3C) - Martin Hachet (Inria) - Jean-Marc Hasenfratz (Inria) - Fabien Lotte (Inria) - Florent Masseglia (Inria) Pierre-Yves Oudeyer (Inria) - Jean-Baptiste Piacentino (Edtech One) - Sophie Raisin (Université Côte d'Azur) - Jill-Jênn Vie (Inria).

Maquette : Françoise Perret
Direction artistique : Sophie Barbier

Publication décembre 2020

Sommaire

Préface 05

Résumé 10

1. Introduction 14
- 1.1 Un sujet critique qui invite à l'esprit critique 17
- 1.2 Le numérique comme vecteur de transformation éducative 18
- 1.3 Un sujet qui implique la recherche scientifique 19
- 1.4 Un écosystème EdTech innovant 22

2. De quoi parle-t-on ? 24
- 2.1 Une mutation technologique et sociétale 25
- 2.2 Une mutation qui impacte l'éducation 26
- 2.3 (Neuro)Sciences cognitives et éducation 29
- 2.4 Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? 31
- 2.5 Pourquoi une formation à la pensée informatique ? 33
- 2.6 De l'apprentissage de l'informatique à celui de la pensée critique 35
- 2.7 Qu'est-ce que la formation aux fondements et usages du numérique ? 37
- 2.8 Qu'est-ce que la formation avec les méthodes et outils du numérique ? 40

3. Quels défis ? 44
- 3.1 La formation des enseignants 45
- 3.2 La réussite pour tous 48
  - La réalité française 51
  - La place du numérique dans la recherche de solutions 53

4. Quels sont les sujets de recherche ? 56
- 4.1 Une recherche pluridisciplinaire avec des communautés bien établies 57
- 4.2 Quelques thématiques de recherche 58
- 4.3 Recherche en neurosciences en lien avec l'éducation 61
- 4.4 Modélisation de l'apprenant 67
- 4.5 L'évaluation de l'impact du numérique 70

5. Quels enjeux ? **78**
5.1 Enjeux de souveraineté numérique et de la maîtrise des données d'apprentissage 79
5.2 Enjeux économiques 83
5.3 Enjeux de la formation au numérique tout au long de la vie 87

6. Quelques recommandations **92**
6.1 Actions de recherche 93
Recommandation n° 1 : Développer des projets de recherche des sciences du numérique au service de la réussite scolaire 93
Recommandation n° 2 : Développer des méthodologies rigoureuses pour l'évaluation du numérique éducatif 95
6.2 Formation au numérique 96
Recommandation n° 3 : Passer à l'échelle dans la formation des enseignants 96
Recommandation n° 4 : Vers une « université citoyenne et populaire du numérique » apte à assurer la formation pour tous et pour toutes au numérique 97
6.3 Action publique 99
Recommandation n° 5 : Créer les conditions du développement et de la mise à jour de ressources éducatives numériques comme des biens communs 99
Recommandation n° 6 : Garantir la portabilité des données personnelles éducatives et développer l'interopérabilité des solutions logicielles 100
Recommandation n° 7 : Créer un observatoire des EdTechs 101

7. Annexes **103**
Annexe 1 : Compléments sur l'intelligence artificielle 104
Annexe 2 : Quelques exemples de travaux de recherche des équipes-projets Inria 110
Annexe 3 : Exemples d'initiatives pour la formation au numérique 119
Bibliographie 127

Préface



© Inria / Illustration Clod.

Ce document est le fruit d'un travail collectif démarré au cours de l'année 2019. Il avait pour ambition d'analyser l'impact du numérique comme vecteur de transformation éducative, d'une part par la nécessité de la formation à la pensée computationnelle dans un monde devenu numérique et d'autre part par l'usage croissant des outils numériques. L'objectif était de présenter les défis et les enjeux notamment de souveraineté numérique et de respect de la vie privée, d'identifier des questions de recherche pour les sciences du numérique et de faire quelques recommandations. La crise liée à la pandémie de Covid-19 est survenue au moment de la finalisation de sa rédaction et bien entendu, nous nous sommes interrogés sur notre projet. Était-il toujours d'actualité ? Le contenu était-il toujours pertinent ? Quels ont été les usages et les limites du numérique pour soutenir la continuité pédagogique pendant la crise ? De nouvelles questions de recherche sont-elles posées ? Autant d'interrogations qui nous ont conduits à un travail supplémentaire de réflexion.

Cette réflexion a tout d'abord débouché sur la mise en lumière, encore plus criante, des inégalités que nous avions placées au cœur de notre document posant de façon encore plus explicite la question de l'inclusion numérique. En effet, que ce soit pour l'Éducation nationale, l'Enseignement supérieur et plus généralement pour toutes les formations, dans cette période de crise, la continuité pédagogique les a encore accrues pour des raisons diverses et souvent cumulatives :

• **conditions matérielles :** la mise en place de cours en ligne a davantage souligné les effets réels de la fracture numérique avec la présence d'un seul ordinateur (voire

pas du tout) pour une famille entière et/ou une connexion internet défaillante (voire absente) ;

• **perte de soutien :** naturellement les élèves[1] en situation d'échec scolaire, d'isolement social et/ou de handicap ont été les plus touchés car le confinement les a empêchés de bénéficier des soutiens humains qui leur permettaient de compenser – au moins partiellement – leurs difficultés ;

• **contexte social :** la présence et l'engagement inégal de parents pouvant aider à organiser le travail, à expliquer les consignes et à soutenir les enseignements complexes ont été encore plus déterminants qu'à l'habitude.

Plus largement, le déploiement d'outils pour assurer la continuité pédagogique n'est qu'un prérequis mais il a parfois été considéré comme suffisant pour le retour à un niveau d'enseignement opérationnel, alors que certains élèves (et en particulier des étudiants) se retrouvaient plongés dans un état d'isolement ou de précarité qui leur interdisait de penser à leurs études. Mentionnons également que certains enseignants, s'ils pouvaient envoyer du matériel pédagogique, n'arrivaient pas à retrouver le niveau de contact leur permettant d'identifier des problèmes ; autrement dit, ces outils, souvent conçus comme un accompagnement au présentiel et non pour un enseignement à distance, n'avaient peut-être pas été suffisamment pensés pour procurer des retours, y compris émotionnels voire existentiels, des apprenants.

Le deuxième axe de notre réflexion a été l'analyse (partielle et sûrement imparfaite à cause du recul trop court) du comportement des systèmes numériques liés à l'éducation offerts aux élèves et au monde enseignant. Commençons par les outils et les plates-formes : il nous semble que ce bilan est mitigé. D'une part, des outils préconisés par les structures de formation qui, malgré la très forte implication d'individus tentant de les maintenir à flot, ont connu beaucoup de difficultés et se sont révélés inadaptés dans de nombreuses situations. D'autre part, afin d'assurer une présence pédagogique, beaucoup d'enseignants et d'enseignantes, parfois conseillés par leurs élèves et/ou leurs enfants[2], ont plébiscité des plates-formes permettant de mettre à disposition des contenus, d'entretenir des échanges, voire de dispenser quelques cours. Enfin, il faut absolument mettre en exergue de très belles initiatives animées par des enseignants et enseignantes afin de pallier les difficultés d'outils ou de contenus peu adaptés aux besoins immédiats. Il est impossible de tous les citer mais mentionnons Maths et Tiques à titre d'illustration.

1. Nous utilisons le terme élève pour alléger le texte mais il désigne de façon générique tous les types d'apprenants de l'école à l'université.
2. Ce phénomène n'est absolument pas cantonné au domaine de l'éducation mais a été observé dans tous les secteurs d'activité. Il est assez amusant de constater qu'en une semaine, un outil comme *Discord* qui devait irriter au plus haut point certains parents d'ados "accro" est devenu populaire dans la vie professionnelle et entraîne les mêmes adultes – tout penauds – à solliciter leurs enfants pour qu'ils les aident à l'utiliser.

À partir de cette analyse, le troisième axe de notre réflexion nous a conduits à lister les forces et les faiblesses des usages associés à cet environnement numérique dédié à l'éducation.

• En tout premier lieu, rappelons que la relation forte entre les enseignants et leurs élèves est absolument fondamentale et que les pratiques se bornant à consulter des plates-formes délivrant de façon dépersonnalisée des contenus sont vouées à l'échec à moins que l'élève n'ait une motivation hors du commun. La situation actuelle souligne la nécessité de développer des nouvelles collaborations entre les enseignants, les élèves et les parents pour soutenir l'apprentissage des élèves et fait apparaître le défi de penser les modalités de la formation tant synchrone qu'asynchrone. Mais le fait de développer de nouvelles modalités scolaires en temps et en espace nécessitera une adaptation tant de la part des enseignants que des élèves et de leur famille.

• Ensuite, la nécessité d'un recours massif aux pratiques numériques a souligné le déficit de formation d'une partie du monde enseignant ; on parle ici d'abord de la capacité à concevoir son usage au service d'une pratique pédagogique, ce qui sous-entend aussi la capacité à « faire fonctionner » un logiciel. Cette réflexion entraîne un écho d'abord individuel mais aussi collectif. Une des difficultés pour les élèves a été de s'adapter et de jongler entre les approches très diverses de leurs enseignants : récupérer des consignes sur *ProNote*, passer de *Skype* à *Discord* pour suivre un cours, après être allé récupérer des fichiers pdf ou audio sur *Moodle* et avoir envoyé une évaluation par e-mail a constitué un redoutable parcours du combattant, souvent hors de portée d'élèves en échec scolaire et/ou en situation de handicap pour lesquels la quasi-totalité des outils est inaccessible. Il ne s'agit pas de critiquer ces décisions prises dans l'urgence mais simplement de les mettre en lumière pour motiver très rapidement une réflexion de fond sur l'accompagnement des pratiques pédagogiques soutenues par le numérique.

• Il faut également insister sur les problèmes importants liés à la souveraineté numérique nationale et européenne face aux géants américains voire asiatiques, notamment en ce qui concerne la confidentialité des données personnelles lors de l'utilisation de systèmes présentés comme gratuits mais dont la rentabilité est basée sur la monétisation de ces informations[3]. Même si l'usage de tels outils s'explique, par facilité ou par économie, cela démontre, encore plus fortement en temps de crise, combien manquent des alternatives nationales ou européennes, offrant la sécurité des données comme élément de décision et donc pas uniquement la performance. De manière plus globale, c'est aussi une nouvelle illustration du

3. Parmi les nombreuses violations des principes du règlement général pour la protection des données (RGPD), mentionnons p. ex. le cas de la plateforme *Zoom* qui a connu un très grand succès (de 10 millions d'utilisateurs en décembre 2019 à plus de 200 millions en mars 2020) grâce à la qualité de son service et qui est désormais interdite dans certaines entreprises (failles de sécurité et de protection de la vie privée).

manque de formation au numérique. Il est fondamental que le recours à ces systèmes soit très restreint, limité dans le temps et surtout qu'une fois la crise surmontée, de vraies réflexions soient menées et des formations proposées pour savoir choisir les « bonnes » solutions.

• Enfin, et ce n'est pas le moins important, si des enseignants et des formateurs ont su se mobiliser pour développer de belles initiatives, il est crucial que collectivement nous reconnaissions tant les actions que leurs auteurs, et que la société et les institutions commencent rapidement à les soutenir afin d'assurer leur pérennité. On parle ici explicitement d'introduire plus d'agilité (au sens informatique du terme) dans le fonctionnement de l'Éducation nationale afin qu'elle ne reste pas dans le seul modèle descendant *(top-down)* qui prévaut trop souvent et qui n'est manifestement pas le plus efficace face au besoin d'adaptation dans un contexte de disruption dans les modalités d'apprentissage.

• Le passage d'un modèle de formation principalement présentiel à un modèle totalement distanciel, sans transition ni réflexion préalable, a conduit à une adoption massive du numérique pour assurer la continuité pédagogique aux différents niveaux éducatifs. Cette disruption a entraîné l'ensemble des acteurs à l'appropriation des outils numériques, comme les environnements numériques de travail (ENT). Le développement des usages du numérique, même si adoptés en raison de la nécessité liée à la fermeture des centres éducatifs, permet d'envisager pour l'après confinement, des compétences numériques davantage développées qui permettent à un plus grand nombre d'enseignants de considérer les usages du numérique dans leurs pratiques éducatives.

Forts de cette réflexion, nous avons relu notre document et finalement décidé de ne le modifier qu'à la marge en le complétant de quelques éléments liés à la pandémie de Covid-19. Nous vous le livrons donc dans son quasi-état d'avant la crise et nous espérons que vous aurez autant de plaisir à le découvrir que nous en avons eu à le rédiger.

Didier, Gérard, Margarida, Pascal & Thierry

Résumé

Ce livre blanc présente la vision d'un institut national public de recherche en sciences et technologies du numérique sur les questions d'éducation *au* numérique et *par* le numérique. L'étendue des problématiques de recherche liées à ces questions les rend nécessairement pluridisciplinaires. Avant de les aborder, nous présentons les défis prioritaires à relever et notamment celui de la contribution du numérique pour la réussite scolaire pour tous. Ce document propose également une vision large sur les enjeux liés au couplage entre numérique et éducation notamment sur la souveraineté éducative et l'évaluation des dispositifs et solutions EdTechs sous une approche de recherche. Enfin, cette triple analyse (quels défis ? quels sujets de recherche ? quels enjeux ?) permet de proposer sept recommandations présentées selon trois thématiques : (i) actions de recherche, (ii) formation au numérique, (iii) action publique.

Plus en détail, ce livre blanc se compose de cinq grandes sections et des annexes complémentaires.

Montrer le lien entre apprentissage de l'informatique et éveil à la pensée critique.

De quoi parle-t-on ? Pour les personnes moins familières avec ces sujets, nous expliquons comment la mutation technologique et sociétale liée au numérique impacte l'éducation. Cette mutation est indissociable de l'impact des neurosciences cognitives et de l'intelligence artificielle. Nous en rappelons les points essentiels et des compléments sont présentés en annexe. Le plus important est la nécessité de « comprendre » les fondements scientifiques et techniques de cette transformation ; c'est-à-dire s'initier à la pensée informatique que nous définissons précisément, et montrer le lien entre apprentissage de l'informatique et éveil à la pensée critique. Cela nous permet alors de spécifier ce qu'est la formation aux fondements et usages du numérique, d'une part, et la formation avec les méthodes et outils du numérique d'autre part.

Quels défis ? Nous identifions trois défis majeurs :

1) La formation des enseignants (et des autres cadres de l'éducation) au numérique car le « facteur enseignant » apparaît comme l'un des plus importants dans la réussite des élèves, qui doivent être capables de s'adapter tout au long de leur vie à un environnement en constante évolution, alors que le manque de temps de formation au long de leur carrière pèse sur l'acquisition des compétences et la nécessaire prise de recul par rapport à ces outils.

2) La réussite pour tous car la réalité française est que l'écart entre ceux qui réussissent et ceux qui échouent est relié à l'origine sociale et se creuse au niveau scolaire.

3) L'inclusion numérique qui se décline en termes de matériel (accès aux équipements et surtout aux réseaux), d'usage (utilisation des outils et acquisition des bonnes pratiques) et de compréhension (bonne utilisation des systèmes utilisés et initiation à la pensée informatique), qui est nécessaire pour la maîtrise des usages et à l'indispensable prise de hauteur par rapport au matériel. Nous discutons alors de la place du numérique dans la contribution au développement de solutions au niveau de la personnalisation des apprentissages et leur diversification avec la science informatique comme levier de développement de compétences et d'acquisition des savoirs scolaires.

Quels sujets de recherche ? En prenant appui sur une recherche pluridisciplinaire avec des communautés bien établies, nous explicitons quelques thématiques de recherche, telles que le développement et l'étude critique de dispositifs numériques et d'algorithmes en éducation, ceci en synergie avec les recherches en neurosciences en lien avec l'éducation. Nous arrivons à la conclusion que la modélisation de l'apprenant, que nous définissons précisément, est le verrou scientifique prioritaire à lever, questionnant l'émergence d'une « science computationnelle de l'apprentissage », tandis que l'évaluation de l'impact du numérique est un chantier encore à ses débuts, que ce soit au niveau de la motivation et de l'engagement, de l'usage des écrans, ou des liens avec les enjeux pédagogiques. Quelques exemples de travaux de recherche conduits au sein des équipes de recherche Inria sont donnés en annexe.

Quels enjeux ? Ce sont ceux de la souveraineté numérique et de la maîtrise des données d'apprentissage ; on s'interroge sur la nature des contenus pédagogiques, sur la maîtrise des données d'apprentissage et la nécessaire ouverture des systèmes. Ce sont aussi les enjeux économiques dans un monde où nous voulons préserver l'accès à l'éducation pour tous et toutes, quelles que soient les contraintes budgétaires, sachant que le surcoût lié à l'échec scolaire pèse près de 20 milliards d'euros par an. Ce sont enfin les enjeux de la formation au numérique tout au long de la vie, en mettant en exergue l'importance des compétences génériques ou transversales qui permettent de s'adapter, il faut apprendre à apprendre. Nous discutons dans quelle mesure le numérique peut répondre à ces enjeux et illustrons ce propos, en annexe, par quelques exemples d'initiatives pour la formation au numérique.

Cette triple analyse nous permet de **proposer** **SEPT RECOMMANDATIONS :**

ACTIONS DE RECHERCHE

Recommandation n°1 :

Développer des projets de recherche des sciences du numérique au service de la réussite scolaire.

Recommandation n°2 :

Développer des méthodologies rigoureuses pour l'évaluation du numérique éducatif.

FORMATION AU NUMÉRIQUE

Recommandation n°3 :

Passer à l'échelle dans la formation des enseignants.

Recommandation n°4 :

Vers une « université citoyenne et populaire du numérique » apte à assurer la formation pour toutes et pour tous au numérique.

ACTION PUBLIQUE

Recommandation n°5 :

Créer les conditions du développement et de la mise à jour de ressources éducatives numériques comme des biens communs.

Recommandation n°6 :

Garantir la portabilité des données personnelles éducatives et développer l'interopérabilité des solutions logicielles.

Recommandation n°7 :

Créer un observatoire des EdTechs.



Introduction

La question des relations entre **éducation et numérique** est complexe et débattue depuis les années soixante-dix. La transformation du monde par la « révolution numérique » n'a fait qu'amplifier les controverses. Il nous semble nécessaire de faire une synthèse sur les concepts sous-jacents et de clarifier les termes utilisés.

Le terme **éducation** peut être compris comme toute action qui assure à chaque individu le développement de toutes ses capacités (physiques, intellectuelles, morales et techniques), incluant l'enseignement qui est plus lié à la transmission à la génération future d'un *corpus* de connaissances et de valeurs de la vie sociale. La **formation** est plus centrée sur l'acquisition de compétences (savoirs ou connaissances, savoir-faire et savoir-être et devenir), et **l'apprentissage** relève plus de mécanismes liés aux apprenants. Derrière le vocable **numérique et éducation,** nous trouvons des aspects très divers tels que matériels et logiciels numériques « classiques » (ordinateurs, tablettes, logiciels de traitement de texte, tableurs, etc.), réseaux de connexion, systèmes logiciels numériques éducatifs (jeux sérieux, plates-formes en ligne de soutien scolaire, systèmes tutoriels intelligents, robots éducatifs, etc.), algorithmes dédiés à l'éducation comme ceux utilisés pour optimiser des parcours d'apprentissage, modèles numériques des processus d'apprentissage et d'éducation et permettant de mieux les comprendre mais aussi enseignements de la science informatique et de la pensée informatique[4].

Dans ce document, nous nous intéressons particulièrement à deux facettes de ce couplage : d'une part l'indispensable formation aux sciences du numérique (éducation au numérique) et d'autre part l'intérêt ou pas de l'usage pédagogique des technologies numériques (éducation par le numérique).

L'éducation au numérique vise les connaissances et compétences liées aux sciences du numérique et l'usage du numérique dans différents contextes (p. ex., apprendre à trier des informations selon des algorithmes ou protéger sa vie privée sur les réseaux sociaux). Pour les bases, cette formation peut se faire en mode « débranché » c'est-à-dire sans dispositif numérique (§ *Class'Code* et *Pixees* en annexe). L'éducation par le numérique utilise des dispositifs numériques (matériel et logiciel, p. ex. des capacités de représentation en 3D) dans un objectif disciplinaire ou interdisciplinaire comme la compréhension de l'électromagnétisme par la réalité augmentée ou par l'utilisation des *clickers* pour évaluer *in situ* la compréhension des étudiants en amphithéâtre.

4. Nous renverrons sur le site *Binaire* pour comprendre pourquoi l'informatique est la science au cœur du numérique. https://www.lemonde.fr/blog/binaire/2014/01/19/linformatique-la-science-au-coeur-du-numerique-1/

Ces deux facettes posent de nouvelles questions de recherche à la fois pour les sciences et technologies du numérique et pour les sciences de l'éducation.

Ce livre blanc présente la vision d'un institut national public de recherche en sciences du numérique sur les questions d'éducation *au* numérique et *par* le numérique et il a pour objectif de proposer un tableau exposant la situation existante avec ses problèmes ainsi que quelques approches émergentes et les défis majeurs à relever en décrivant les bénéfices espérés sans oublier les risques associés. Il s'appuie sur les compétences de ses auteurs mais également sur des expertises extérieures de spécialistes du domaine. Il vise à analyser l'état actuel du numérique éducatif tout en situant les éléments clés de cette analyse tant en termes de transformations technologiques et sociétales que de formation au numérique et par le numérique (section 2, *De quoi parle-t-on ?*). Ensuite sont traités les défis liés à la formation des enseignants et à la réussite pour tous (section 3, *Quels défis ?*). Les sujets de recherche qui émergent dans le contexte actuel du numérique éducatif sont traités dans la section 4 (*Quels sont les sujets de recherche ?*), pour ensuite s'attacher aux enjeux de souveraineté numérique, économique et de formation au long de la vie (section 5, *Quels enjeux ?*). Nous finalisons le livre blanc en proposant des recommandations tant en termes de thématiques de recherche, que de formation au numérique et d'action publique (section 6, *Quelques recommandations*).

Des annexes importantes complètent ce document. La première donne une synthèse des différentes approches d'intelligence artificielle qui va au-delà de la question éducative à proprement parler. La deuxième annexe présente les travaux des équipes-projets Inria qui conduisent leur recherche avec des interactions directes sur la question de la formation[5]. Enfin la dernière annexe présente quelques exemples d'initiatives de formation aux sciences du numérique et des nouvelles formations en sciences de l'éducation en France qui inscrivent le numérique dans leur cursus. Une large bibliographie complète le document.

Enfin, ce livre blanc s'adresse à toute personne qui s'intéresse aux liens entre éducation et numérique : chercheurs, enseignants, responsables de structure de formation, entrepreneurs, journalistes spécialisés et décideurs publics. Nous espérons que la lecture de ce document permettra à chacun de prendre connaissance des questions fondamentales ainsi que des innovations récentes, et qu'elle suscitera réflexions et débats sur un sujet majeur qui nous concerne tous en tant que citoyens.

5. Ce n'est bien sûr qu'une vision partielle de l'activité de recherche française sur le sujet et il y a d'autres équipes proches thématiquement p. ex., à Sorbonne Université (équipe MOCAH du LIP6) ou à l'université de Lorraine (équipe Kiwi du Loria) etc.

1.1 Un sujet critique qui invite à l'esprit critique

En premier lieu, le sujet « éducation et numérique » est loin d'être épuisé notamment parce que le contexte évolue de façon constante. Plus précisément, cette évolution est la conséquence de trois facteurs, intrinsèques et extrinsèques :

1) le développement de nouvelles approches pédagogiques centrées sur l'apprenant. Voir p. ex. [Lai-2018] qui met en perspective la dernière décennie des travaux sur le numérique éducatif pour constater que l'accent a été davantage mis sur l'apprenant que sur la technologie ; les effets psychologiques et émotionnels de la médiatisation[6] des apprentissages par la technologie, tout comme le volet éthique et sécuritaire sont à considérer pour l'intégration du numérique en éducation ;

2) des changements de pratiques pédagogiques induites ou pas, par les innovations technologiques et la question de leurs déploiements dans la société bien au-delà du domaine de la formation ;

3) des attentes sociales et politiques pour une société apprenante qui se traduisent par des rapports parlementaires successifs [Fourgous-2012], [Béjean-2015], [Studer-2018], [Taddei&al-2018] et celui du Conseil national du numérique [CNNum-2014] pour de *« nouveaux plans sur l'école et le numérique »*. Ces rapports abordent la problématique de l'appropriation des innovations technologiques, de leur mise en œuvre et de l'évaluation de leur plus-value pédagogique.

Ces facteurs sont autant d'éléments qui remettent en question de façon permanente les « évidences » du jour précédent. Le rapport de la Cour des comptes *« Le service public numérique pour l'éducation »*[7], publié en juillet 2019, fait état d'une situation de l'intégration du numérique en éducation déployée sans vision ni stratégie claire et où les infrastructures informatiques des établissements scolaires (notamment les infrastructures réseaux et d'accès à Internet), la formation initiale et continue des enseignants et la maîtrise des usages sont très loin d'être également réparties sur le territoire national malgré des initiatives diversifiées.

Ensuite, parce que depuis quelque temps, beaucoup de déclarations dans les médias, d'articles dans la presse spécialisée veulent nous faire penser que la seule question dans ce domaine tourne autour de la place de l'intelligence artificielle (IA).

6. La médiatisation fait référence aux *« relations et intersections entre dispositifs, processus sociaux et processus de communication »* (Ferreira, 2007).
7. https://www.ccomptes.fr/fr/publications/le-service-public-numerique-pour-leducation

Certes, des méthodes regroupées sous ce nom seront de plus en plus présentes[8] [9], et il convient d'en questionner en amont tant les bénéfices que les inconvénients – nous en reparlerons plus loin – mais elles ne représentent qu'une petite partie des sujets de réflexion autour du numérique.

1.2 Le numérique comme vecteur de transformation éducative

Plus globalement, il nous semble qu'il faut affronter les problèmes de fond que rencontre notre système éducatif — confirmés notamment par les évaluations internationales (PISA)[10] d'un point de vue des inégalités éducatives en termes d'accessibilité au numérique et aux équipements technologiques, de littératie numérique mais aussi de pensée critique (développement de la théorie du complot et des vérités multiples, généralisation des « infox »[11], montée des intégrismes, etc.). Bien entendu « le numérique » ne saurait en aucun cas résoudre seul tous ces problèmes cruciaux pour nos sociétés et pour certains, il fait même partie du problème puisqu'il donne les outils de diffusion massive des infox et du développement des intégrismes. Mais nous pensons cependant que **l'étude du numérique en éducation** peut contribuer à apporter des éléments de réponses, d'une part, par le biais de **la formation à la pensée informatique** (voir section 2.5) et d'autre part grâce à des recherches et à de **nouveaux usages du numérique pouvant apporter une plus-value pédagogique.**

Le numérique peut donner support à la médiation de la relation pédagogique, mais aussi à la médiatisation des contenus de formation [Peraya-2008] et des activités d'apprentissage. La médiatisation par le numérique n'assure ni la plus-value pédagogique, ni l'innovation pédagogique. Bien que le numérique puisse permettre un nouveau support, la relation pédagogique et les pratiques pédagogiques ne sont pas toujours innovantes. Ainsi, les principes de classe inversée ou l'apprentissage par le jeu, déjà présents sur des formes analogiques, ne sont pas une innovation du point de vue de la relation pédagogique, mais prennent une nouvelle forme avec le support du numérique [Amadieu&al-2014] [Tricot-2017]) La médiatisation par le numérique se retrouve souvent réduite à un outillage numérique permettant de les revisiter, ce que le modèle SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, Redéfinition) de Puentedura (2015)[12] considère comme un niveau de substitution où la technologie est

8. cf. 1er focus (pages 185-192) du rapport Villani
9. https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/impact-artificial-intelligence-learning-teaching-and-education, 2018 - *JRC Science for Policy Report.*
10. http://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_FRA_FRE.pdf
11. Traduction de *« fake news »*.
12. http://hippasus.com/rrpweblog/archives/2015/10/SAMR_ABriefIntro.pdf

utilisée pour effectuer la même tâche qu'auparavant. L'augmentation, la modification et la redéfinition des pratiques par l'usage du numérique laissent entrevoir la capacité d'accompagner le formateur et l'apprenant par la **personnalisation des apprentissages.** Cette perspective est un moteur important de la dynamique qui se traduit par l'émergence de nombreuses entreprises EdTechs (§2.1) associée à une envolée des levées de fonds des startups du domaine au niveau mondial[13]. Les processus d'enseignement et d'apprentissage sont bien plus complexes que la simplification proposée par le modèle SAMR. Pour comprendre les changements introduits par l'usage du numérique, il faut tenir compte de la tâche mais aussi des connaissances spécifiques au domaine disciplinaire engagées dans la tâche. De ce fait, il existe des limites importantes dans le transfert des résultats de recherche sur les différents types d'usages du numérique en éducation.

1.3 Un sujet qui implique la recherche scientifique

Enfin, comme il est important d'aborder ce sujet sous un angle multidisciplinaire et pas uniquement en termes de matériels et/ou de logiciels comme ce fut et est encore trop souvent le cas, il nous paraît fondamental de prendre aussi en compte les avis des scientifiques. Ceux-ci, qu'ils appartiennent aux sciences de l'éducation ou du numérique, ou encore aux sciences cognitives et aux neurosciences, permettent d'éclairer les usages du numérique tout en considérant la diversité des contextes, des tâches et des différences interindividuelles dans les activités d'apprentissage médiatisées par le numérique. *A contrario*, comme avec tout outillage, l'usage d'un équipement numérique peut présenter des risques et des effets négatifs à prendre en compte. Par exemple, la démultiplication des outils peut conduire à une surcharge mentale, ou encore, la personnalisation peut conduire à des comportements non éthiques ou ne respectant pas la vie privée des apprenants ou des formateurs[14]. En être pleinement conscient est nécessaire, d'une part pour lutter contre le dévoiement de l'outil [Romero-2019], et d'autre part pour poser les questions de recherche sous-jacentes afin de trouver des solutions et mettre en place des garde-fous.

Pour terminer, on ne peut négliger l'impact du numérique sur notre environnement. Il convient de considérer les effets délétères de la fabrication, de la consommation et de la fin de vie des matériels informatiques afin de les réduire significativement. Les politiques de distribution à grande échelle d'équipements nouveaux **sans véritable évaluation rigoureuse,** ni en amont des véritables besoins, ni en aval des bénéfices

13. https://www.thetechedvocate.org/where-are-EdTech-venture-capitalists-looking-to-invest-in-for-2020/
14. Et de manière plus globale la désinformation, la manipulation d'opinion à des fins politiques ou mercantiles, etc.

induits, ne sont pas à ce titre à recommander. La distribution à grande échelle répond à une logique descendante qui ne tient pas toujours compte de la diversité des besoins des usagers. Ainsi, seule une position responsable nous permettra de ne pas tomber dans l'un des deux extrêmes – adhésion sans questionnement ou refus total – qui l'un comme l'autre, sont excessifs et contre-productifs. Il convient donc d'adopter des démarches rigoureuses et de développer des études scientifiques [Assude&al-2009] pour mettre en perspective les plus-values pédagogiques et les contraintes liées aux coûts, en ressources aussi bien environnementales, humaines que financières, dépendant du cycle de vie de ces technologies[15].

Ces questions sont traitées au sein d'équipes de recherche Inria depuis longtemps. De nouveaux axes de recherche doivent être engagés et stimulés avec l'ambition d'avoir un impact majeur pour : *(i)* améliorer les processus de formation bien synthétisés par le triangle pédagogique proposé par J. Houssaye [Houssaye-1988] et étendu par Joseph Rézeau [Rezeau-2002] (voir figure 1 ci-dessous), *(ii)* permettre aux différents acteurs éducatifs (apprenants, enseignants, cadres éducatifs, familles, décideurs) de comprendre les enjeux du numérique. Le triangle pédagogique est une représentation des composantes et acteurs clés de la situation d'enseignement-apprentissage dans laquelle sont considérées la relation entre l'enseignant et sa manière d'organiser les activités d'apprentissage pour l'apprenant (pédagogie), entre le savoir à enseigner et l'enseignant (relation didactique) et entre l'apprenant et le savoir (processus d'apprentissage). Le développement de solutions combinant les apports des sciences de l'éducation[16] et du numérique peut être un levier pour affronter les défis éducatifs contemporains et ainsi, contribuer à lutter contre l'échec scolaire[17], favoriser la réussite et améliorer la formation tout au long de la vie. À côté des dispositifs existants d'aide à la réussite scolaire, dont certains sont encore à évaluer, de nouveaux axes de recherche transdisciplinaires voient le jour grâce à l'informatique, à la fois au niveau des outils, mais aussi des modèles issus des sciences du numérique.

15. À ce titre, on renverra le lecteur à la page 50 du rapport de janvier 2020 de The Shift Project sur la sobriété numérique qui indique par exemple que la consommation énergétique d'un smartphone est de 90 % pour sa production et de 10 % pour son usage calculé sur deux années d'utilisation (hors consommation du réseau).
16. Les sciences de l'éducation et de la formation (CNU 70) présentent en France un périmètre légèrement différent de celui des « *learning sciences* » dans le contexte international, où les approches en psychologie de l'éducation, sciences cognitives et neurosciences cognitives sont également intégrées dans le périmètre des sociétés savantes comme l'*European Association on Learning and Instruction (EARLI)*.
17. Voir la section 3.2 *« La réussite pour tous »*.

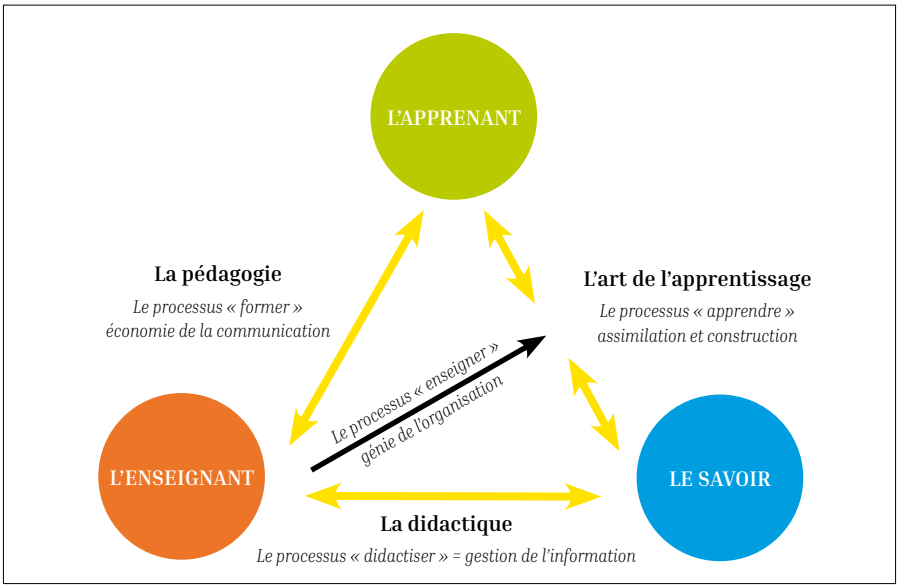


Figure 1. Situation d'enseignement-apprentissage [Rezeau-2002] à partir du triangle pédagogique [Houssaye-1988].

Par ailleurs, en ce qui concerne *l'éducation à la pensée informatique* [Wing-2006], [Paniagua&al-2019], Inria, à travers des réflexions et des actions menées le plus souvent en partenariat, contribue depuis des années au développement de l'enseignement de l'informatique, en proposant des formations (séminaires, MOOC) destinées aux enseignants de cette nouvelle discipline comme la plateforme *Class'Code* [Canellas&al-2016], [Mariais&al-2019]. Inria développe également des activités en liaison étroite avec des enseignants, ou en expérimentant des approches nouvelles tout en recueillant en aval les avis des acteurs de terrain et en évaluant en amont leurs bénéfices et leurs inconvénients. Cette éducation aux fondements du numérique est un préalable à l'usage éclairé du numérique en éducation, elle se fait à travers la vulgarisation scientifique[18] *(science popularization)* et la médiation scientifique[19] *(science outreach)*.

18. La vulgarisation scientifique consiste à rendre les savoirs scientifiques accessibles au grand public. On considère généralement que l'échange se fait principalement dans un sens : du sachant vers l'apprenant. Une partie de l'éducation s'inscrit dans le même mouvement, de permettre à un public d'acquérir des connaissances.
19. La médiation scientifique va au-delà de la diffusion du savoir. Elle établit une relation à double sens entre la société et la recherche scientifique. De la société vers la recherche, *via* les réflexions et les préoccupations du public (éthiques, p. ex.), voire ses expérimentations. De la recherche vers la société, en étant à l'écoute du grand public, en l'associant même à la science (science participative). L'intérêt est double, pour la recherche comme pour la société, en permettant des décisions éclairées pour l'individu et pour la société. Éducation, vulgarisation, formation et médiation scientifique partagent un socle commun d'actions, de valeurs et de résultats attendus.

1.4 Un écosystème EdTech innovant

La France dispose de nombreuses entreprises et startups innovantes, dynamiques et performantes et possède aussi un tissu associatif autour des EdTechs qui se structure[20]. Ces sociétés ont un fort potentiel à l'international[21]. Plusieurs entreprises ont recruté et mélangé des talents de l'édition, de la création numérique, du développement informatique, des *jeux-sérieux*, de l'intelligence artificielle, ainsi que des experts en ingénierie pédagogique. Mais le constat est que, même si la demande est explicite, l'achat public demeure très compliqué. Ces mêmes startups qui ont pu expérimenter et développer leur produit en France, souvent grâce à l'Éducation nationale, les vendent plus facilement à l'étranger alors que, *in fine*, la nation a largement participé à l'investissement la plupart du temps en « nature ».

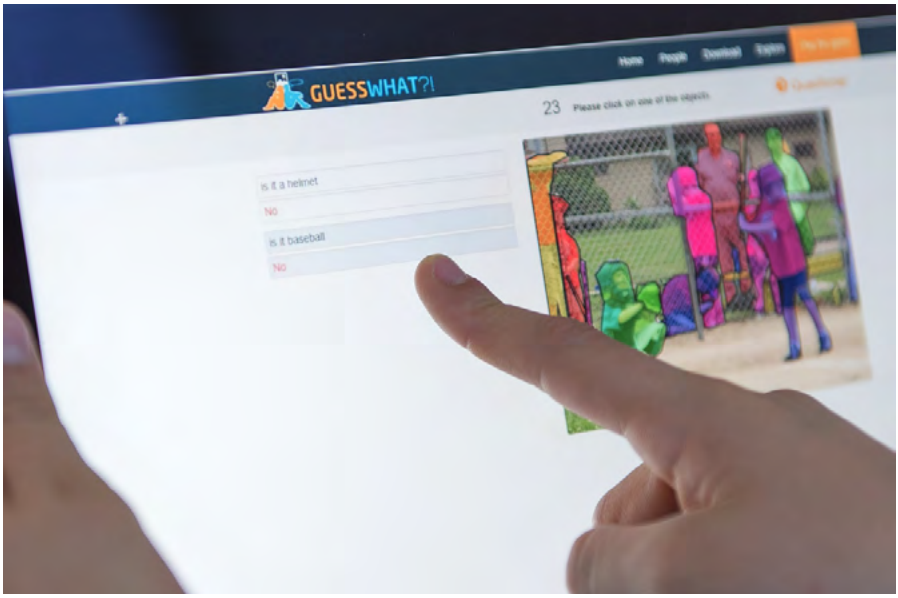
Ce constat est partagé comme en témoigne le très bon rapport[22] (décembre 2019) de la *Fondation Digital NewDeal*, écrit sous la responsabilité de Marie-Christine Levet, fondatrice d'*Educapital*, qui milite pour le renforcement d'une filière industrielle française des EdTechs sous peine de voir notre système éducatif public (enseignement scolaire et supérieur) être rapidement « détourné », comme le décrit très bien Thierry de Vulpillières (voir page 52 du rapport). Car vu la complexité des conditions d'achat, la solution de déploiement la plus simple est alors d'acquérir du matériel et d'utiliser toutes les applications « gratuites » mises à disposition par certaines grandes firmes non européennes, sans être trop regardant sur l'usage qu'elles font des données ainsi récoltées.

Bien sûr, le marché français ne se réduit pas aux besoins de l'Éducation nationale. Les marchés liés à l'orientation, à l'Enseignement supérieur et bien sûr à la formation continue sont en forte croissance et le développement de ces marchés s'accélère sur le plan mondial. Les États-Unis et la Chine concentrent les deux-tiers des sept milliards d'euros de levées de fonds en 2019. En Europe, le montant total des investissements EdTech dépasse le milliard d'euros pour la première fois, croissance portée par la France, le Royaume-Uni et les pays nordiques[23].

Enfin, on peut également mentionner des nouvelles formes d'enseignement « privé » centré sur la gratuité avec la création d'écoles emblématiques et spécialisées pour l'apprentissage de l'informatique comme les écoles 42, Holberton School ou

20. *Afinef, EdTech France, Cap Digital, Les Éditeurs de l'Éducation, EducAzur, Cluster Aquitaine, EdTech Lyon,* etc. Création du fonds *EduCapital* en 2017 dédié aux EdTechs et l'annonce à *Educatec 2018* de la création de la fédération des *clusters* EdTechs territoriaux francophones. https://clusters-edtech.org/
21. On peut citer la levée de fonds (50 millions d'euros) en 2018 d'*OpenClassrooms* mais qu'il faut relativiser, *Coursera* ayant levé l'équivalent en 2012 et *Yuanfudao*, entreprise chinoise créée en mars 2012 vient de lever, en mars 2020, 1 milliard de dollars.
22. https://www.thedigitalnewdeal.org/preserver-notre-souverainete-educative-soutenir-ledtech-francaise/
23. Extrait du rapport annuel 2019 d'*Educapital* (page 5) : https://www.educapital.fr/blog

encore Simplon. On peut également signaler la Khan Academy, école américaine gratuite et entièrement en ligne pour les niveaux du K12 (du CP à la Terminale), soutenue par de nombreux mécènes et qui a une audience internationale. Désormais disponible en français, elle est très centrée sur les mathématiques mais a l'ambition de couvrir la plupart des disciplines (ce qui a déjà commencé en anglais).



Jeu interactif Guesswhat ?! de machine learning. © *Inria / Photo G. Scagnelli.*

2

De quoi parle-t-on ?

Pour les personnes moins familières avec ces sujets, nous expliquons comment la mutation technologique et sociétale liée au numérique impacte l'éducation. Cette mutation est indissociable de l'impact des neurosciences cognitives et de l'intelligence artificielle. Nous en rappelons les points essentiels et les compléments sont présentés en annexe. Le plus important est la nécessité de « comprendre » les fondements scientifiques et techniques de cette mutation, c'est-à-dire s'initier à la pensée informatique que nous définissons précisément, et montrer le lien entre apprentissage de l'informatique et éveil à la pensée critique. Cela nous permet alors de spécifier ce qu'est la formation aux fondements et usages du numérique d'une part et la formation avec les méthodes et outils du numérique d'autre part.

2.1 Une mutation technologique et sociétale

Comme Gilbert Simondon l'a analysé [Simondon-1958], depuis l'aube de l'humanité, l'Homme invente continuellement des technologies pour fabriquer des outils techniques en vue d'améliorer les conditions de son existence[24]. Certaines provoquent des changements importants dans les sociétés humaines dont elles sont issues, ce qui impose aux femmes et aux hommes de ces sociétés de nouveaux apprentissages s'ils veulent en tirer profit et ne pas y être aliénés[25]. Une transformation profonde est à l'œuvre dans nos sociétés depuis l'apparition de l'informatique, et des technologies du « numérique » qui en découlent, et elle nous interroge sur les changements de paradigmes des apprentissages au et par le numérique.

Ainsi, quand l'usage de l'informatique s'est popularisé, son apprentissage a commencé à être interrogé pour comprendre la manière dont les différents outils et services liés à l'informatique devaient être appris et utilisés, pour améliorer les processus d'enseignement et d'apprentissage. De nombreux débats scientifiques sur l'usage du numérique dans les pratiques pédagogiques en ont découlé. Au long de ces dernières décennies, les termes utilisés pour désigner ce qui, aujourd'hui, est souvent englobé sous le vocable « numérique » ont connu une grande évolution. Dans le domaine de la recherche, le terme d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) a été en France progressivement remplacé au cours des années 2000 par celui d'Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH). L'usage du terme Technologie Éducative (en anglais : *educational technology* ou EdTech[26]) a été repris pour caractériser la filière des entreprises innovantes du numérique éducatif

24. Pierres taillées du paléolithique, invention de l'agriculture et de la domestication des animaux, invention de la machine à vapeur, etc.
25. On peut également remarquer que la plupart du temps, l'invention d'une technologie précède l'élaboration des *corpus* scientifiques associés.
26. La définition « EdTech » donnée en 1977 (https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED192759.pdf) est toujours à notre avis d'actualité.

qui développent et commercialisent les outils et les contenus numériques pour la formation ; la communauté scientifique internationale utilise maintenant le terme « *Technology-Enhanced Learning* » pour se différencier des entreprises EdTechs.

2.2 Une mutation qui impacte l'éducation

Bien sûr, on peut considérer que quelles que soient les transformations induites par les inventions et usages des technologies, il y a des invariants dans la manière dont l'humain apprend. *Homo sapiens* est extrêmement performant pour apprendre[27]. Cette compétence est collective et pas uniquement individuelle. Sa capacité mimétique l'assure d'un apprentissage en continu, voire sans « effort » en interagissant au sein de son environnement quotidien. Pour autant, comme le note André Tricot [Tricot-2017], en complément de ces connaissances primaires, d'autres connaissances de type secondaire doivent faire l'objet d'une démarche intentionnelle d'enseignement afin qu'elles puissent être acquises par l'élève. Le rôle de l'école est justement de fournir cette éducation non naturelle, qui ne va pas de soi.

L'informatique permet de codifier des connaissances explicites et permet aussi la combinaison de connaissances explicites.

Selon Ikujiro Nonaka [Nonaka-1995], il faut distinguer les connaissances tacites (qui ne sont pas écrites, comme les coutumes, les habitudes et les intentions) et les connaissances explicites, qui font objet d'un savoir institutionnalisé. Selon Nonaka, les relations entre les connaissances tacites et explicites sont continuelles et prennent différentes formes selon la conversion d'un type de connaissances à un autre. Nonaka dénomme son modèle SECI (Socialisation – Extériorisation – Combinaison – Intériorisation).

La *socialisation* met en relation des connaissances tacites dans des relations entre sujets, et permet la transmission de ce type de connaissances sans avoir recours à une codification ou langage formel pour la description de ces connaissances. La *formalisation* ou *extériorisation* permet la conversion des connaissances tacites en connaissances explicites, tandis que l'*intériorisation* convertit l'explicite en tacite. Selon Nonaka, la *combinaison* de connaissances explicites par le biais d'un langage ou code commun peut permettre la génération de nouvelles connaissances explicites. L'informatique permet de codifier des connaissances explicites et permet aussi la *combinaison* de connaissances explicites. Si le traitement des connaissances

27. La capacité à communiquer avec un langage riche ou la capacité d'abstraction et d'intersubjectivité sont évidemment aussi des traits humains participant de la « réussite » de notre espèce, mais la capacité à être éduqué, autrement dit à apprendre de manière collective, est un levier majeur de notre évolution.

explicites avec l'informatique a donné lieu à de nombreux travaux en ingénierie des connaissances, il reste à questionner la manière de traiter les connaissances tacites, qui regroupent les compétences innées ou acquises liées au savoir-faire et à l'expérience (au sens « avoir de l'expérience »). Plus difficile à formaliser, la *socialisation* pourrait permettre leur partage. Certaines connaissances liées aux usages du numérique sont à considérer comme étant tacites (p. ex., la nétiquette ou autre coutume d'usage des réseaux sociaux). De plus, les quatre étapes identifiées par Nonaka dans les transformations entre connaissances tacites et connaissances explicites (externalisation, combinaison, internalisation, socialisation) sont probablement plus faciles à intégrer en s'aidant des outils numériques.

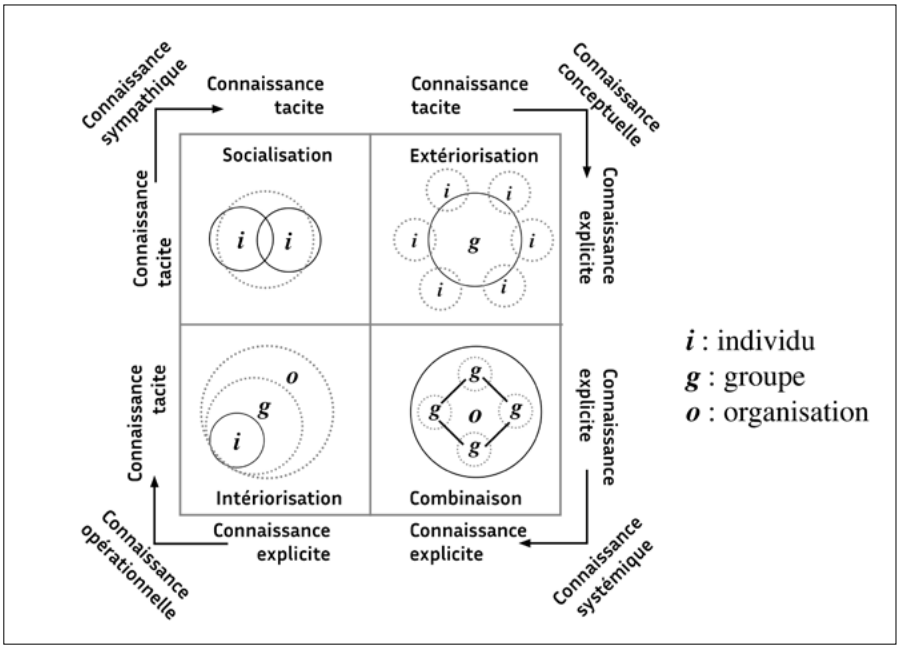


Figure 2. Modèle de la création spiralaire des connaissances [Nonaka&Konno-1998] traduit par Heutte [Heutte-2014].

Les différents types de connaissances sont parfois présentés sous forme de divers types de savoirs[28]. Le savoir fait référence aux connaissances théoriques ou déclaratives (normes, vocabulaire, mathématiques, etc.). Le *savoir-faire* correspond à une connaissance de type processus mettant en jeu des connaissances spécifiques dans un contexte. Le *savoir-être* comprend les attitudes et les comportements de la personne dans son contexte social et son environnement. Pour Leboterf

28. À partir de https://fr.wikipedia.org/wiki/Éducation

[Leboterf-2002], être compétent correspond à un *savoir-agir*, ou à la capacité de savoir gérer différentes situations professionnelles, ce qui requiert tant des *savoirs,* que des *savoir-faire* et *savoir-être* de la personne.

La figure 3 ci-dessous présente un cadre de référence didactique décrivant les formats et les processus d'apprentissage dans lesquels sont présentés les différents types de connaissances et les procédures entre elles [Musial&al-2012].

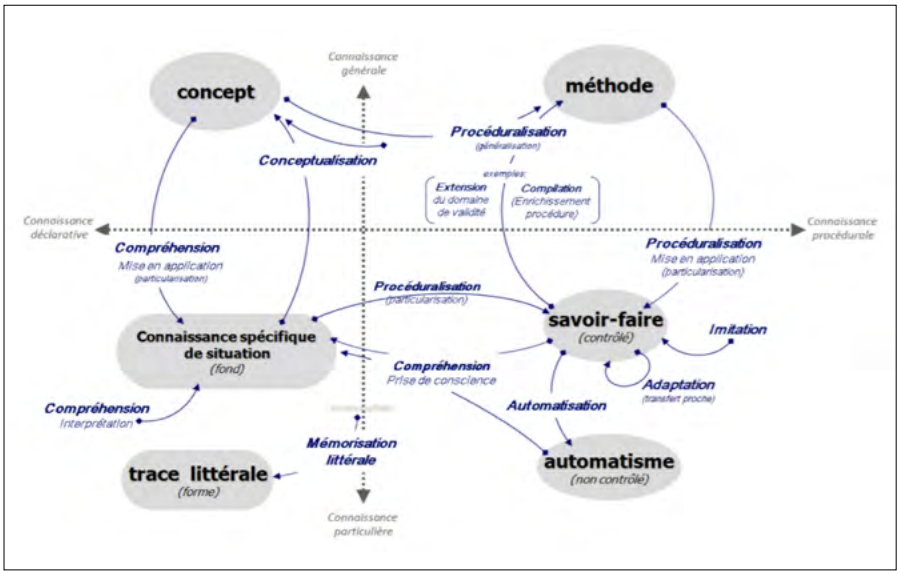


Figure 3. Formats et processus d'apprentissage : cadre de référence didactique [Musial&al-2012].

Les connaissances et les processus d'apprentissage sont du ressort de l'École mais pas uniquement. L'influence du tissu familial et social de l'apprenant joue beaucoup, notamment en ce qui concerne le « savoir-être » et « l'être ». Pour des raisons multiples, au premier rang desquelles se trouve certainement la surcharge des classes, la construction de la confiance en soi et de la motivation de l'apprenant se retrouvent souvent à l'arrière-plan de la construction du « savoir ».

De nombreux facteurs, tant individuels que collectifs, organisationnels et socioculturels, sont à prendre en compte dans le travail d'ingénierie pédagogique que réalisent les différents acteurs éducatifs au moment de développer des situations d'enseignement et d'apprentissage. Les comportements d'un individu peuvent être analysés sous différentes perspectives, tant biologique que mentale et sociale. Nous devons les prendre en compte dans le but de concevoir des situations éducatives qui

puissent favoriser la confiance en soi et la motivation, permettant l'engagement. Les enseignants devraient tenir compte de ces différents aspects pour pouvoir développer leur activité [Tricot-2017], (chapitre 3). Étant donnée l'importance clé du rôle des enseignants dans la conception et l'orchestration des activités d'apprentissage, la formation de ces professionnels de l'enseignement et de l'apprentissage devra être traitée en lien à la formation au numérique et aux usages du numérique pour soutenir les processus d'enseignement et d'apprentissage.

2.3 (Neuro)Sciences cognitives et éducation

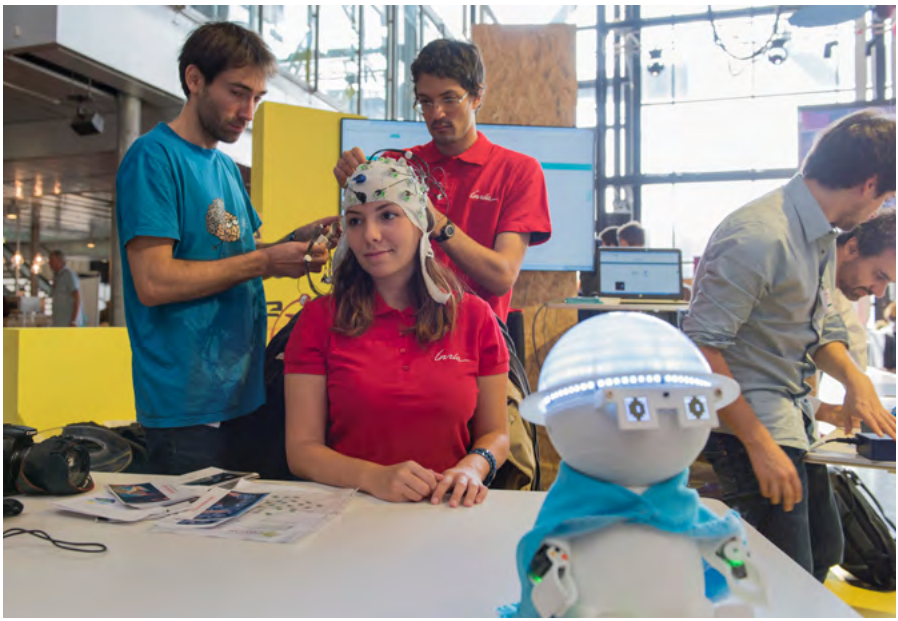
L'étude des processus d'enseignement et d'apprentissage nécessite un éclairage multidisciplinaire et la diversité épistémologique dans les sciences de l'éducation et de la formation (SEF) est une richesse pour prendre en considération les multiples facettes des phénomènes étudiés. La recherche en éducation a été éclairée tant par des approches constructivistes, que des didactiques disciplinaires, la didactique professionnelle, les différentes approches en psychologie, dont celles en lien aux sciences cognitives et des approches sociologiques et anthropologiques. Tout l'enjeu des différentes approches est de bien situer les processus individuels (dont le fonctionnement cognitif) en lien à la complexité des situations d'enseignement et d'apprentissage [Rogalski-2015]. Dans ce contexte de diversité épistémologique, nous présentons ici l'émergence des (neuro)sciences cognitives en éducation. En effet, les neurosciences cognitives proposent une démarche qui mérite d'être examinée et d'être prise en compte dans le cadre de propositions visant à améliorer les « outils » pédagogiques. Au sein des sciences cognitives, un nombre croissant des travaux fait appel aux neurosciences, donnant lieu aux neurosciences cognitives. Les neurosciences s'intéressent aux mécanismes neurobiologiques qui sous-tendent la cognition dont les processus d'attention, de perception, de mémoire ou encore des émotions. Dans ce domaine, les travaux de Stanislas Dehaene[29] [Dehaene-2012] soulignent **quatre piliers de l'apprentissage :**

1) l'attention : l'humain ne sait pas gérer efficacement deux tâches cognitives en même temps ;
2) l'engagement actif : importance de l'évaluation et de la métacognition ;
3) le retour d'information *(feedback)* ;
4) la consolidation.

29. Professeur au Collège de France en psychologie cognitive expérimentale (http://tinyurl.com/y35htwe5) directeur de l'unité de neuro-imagerie cognitive du centre NeuroSpin (CEA de Saclay), préside aussi le Conseil scientifique de l'Éducation nationale. https://fr.wikipedia.org/wiki/Stanislas_Dehaene

Nous verrons ci-dessous comment cela peut être utile au niveau du numérique, tout particulièrement au niveau d'une réflexion sur le développement et l'usage des outils numériques pour l'éducation.

Des solutions numériques basées sur ces principes ont été développées au cours des dernières années dans le but d'améliorer les apprentissages. Il est possible de considérer ainsi l'engagement actif de l'apprenant (p. ex., laboratoires virtuels), le retour d'information (p. ex., jeux mathématiques avec retour immédiat facilitant la rétroaction formative), ou encore les outils pour l'entraînement de l'attention visuo-spatiale par le biais de jeux numériques [Green&Bavelier-2012].



Compréhension des processus à l'œuvre dans le cerveau avec Teegi. © *Inria / Photo G. Scagnelli.*

L'apport des neurosciences fournit des éclairages sur le fonctionnement cognitif d'un point de vue neurobiologique. Cependant, le passage des connaissances développées sur les aspects neurobiologiques nécessite une prise en compte des tâches et des situations concrètes. Le transfert des connaissances sur des tâches concrètes à d'autres contextes reste un défi, sur lequel il faut garder une grande prudence au moment de généraliser les résultats des travaux en neurosciences à d'autres situations que celles considérées initialement. Ainsi, les recherches développées par la communauté en neurosciences ont permis de faire des avancées notables au cours des dernières années. Cependant, nous serons aussi très prudents

sur ces aspects dits de neuro-éducation (qui combine les neurosciences, la psychologie et l'éducation en vue de créer de meilleures manières d'enseigner), car comme Stanislas Dehaene l'explicite régulièrement, il y a beaucoup d'éléments pseudo-scientifiques sur ces sujets qui méritent d'être démystifiés (§ section 4.3).

La question de la variabilité et l'invariabilité de certains processus (neuro) cognitifs au niveau individuel doit tenir compte aussi de la variabilité des contextes, tant des tâches que des situations d'apprentissage. Si nous considérons les aspects invariables de la base neurobiologique, nous pouvons considérer que les processus neurocognitifs restent inchangés depuis les premiers *Homo sapiens* au-delà des différentes technologies que nous utilisons : des tablettes d'argile aux tablettes numériques. Le numérique a cependant été un facteur de variabilité au niveau de la médiation des processus d'enseignement et d'apprentissage, mais également de médiatisation de la formation quand celle-ci est adaptée au média numérique. Les pratiques pédagogiques sont également influencées par les différentes technologies que nous utilisons. En effet, est-on sûr que l'invention de l'écriture et l'usage des tablettes d'argile pour l'enseignement du calcul il y a 3 800 ans n'ont pas fait évoluer les pratiques pédagogiques ? Est-on sûr que l'invention de l'imprimerie et la large diffusion des livres imprimés n'ont pas changé les pratiques pédagogiques ? À l'heure où la génération Z n'est pas plus douée en informatique que les précédentes et que, selon une enquête [30](même si ses caractéristiques ne sont pas précisées), 59 % des jeunes de cette génération citent *YouTube* comme leur outil préféré d'apprentissage, est-on sûr que cela n'a pas d'impact sur les pratiques pédagogiques ? Une récente étude [Farag-2019] montre que pour certaines pratiques chirurgicales, c'est déjà le cas. La principale source d'information des étudiants en chirurgie reste *YouTube*, avec le risque que les vidéos regardées soit celles d'actes qui ne suivent pas les meilleures pratiques ou présentent des actes mal réalisés.

2.4 Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

Comme tout domaine scientifique dont découlent de nouvelles technologies, parfois disruptives, l'intelligence artificielle (IA) génère des espoirs et suscite des craintes. Le monde de l'Éducation n'échappe pas à la règle, en particulier à cause de la mention d'« intelligence », à tel point que l'UNESCO vient de publier un document (le « *consensus de Beijing* »)[31] qui se veut être un guide de conseils et recommandations sur les meilleures façons d'exploiter les technologies d'intelligence artificielle (IA) pour la réalisation de l'Agenda Éducation 2030.

30. https://techcrunch.com/2019/06/11/internet-trends-report-2019/
31. https://fr.unesco.org/news/premier-consensus-lintelligence-artificielle-leducation-publie-lunesco

Définissons ici l'IA[32] comme l'automatisation des processus et comportements que nous, humains, percevons comme intelligents (§ annexe 1 pour plus d'information sur l'intelligence artificielle). Au niveau symbolique, cela inclut, par exemple, déduire, décider, résoudre. Au-delà, grâce à l'explosion de calculs numériques ajustés sur des données, cela inclut catégoriser, reconnaître, générer un texte ou une image, et aussi explorer, proposer une décision, etc. Et c'est pour cela que l'on trouve au sein de l'IA des problématiques comme l'apprentissage automatique (*machine learning*), la représentation des connaissances, du raisonnement algorithmique, le traitement automatique des langues, la robotique, la vision par ordinateur, en lien avec des domaines informatiques comme la programmation par contraintes ou l'étude des systèmes multiagents, ou, au-delà, l'analyse de fonctions cognitives[33] comme apprendre, lire, imaginer, parler, reconnaître, composer, décider, etc. Cela permet par exemple d'aider à déterminer ce qu'un humain peut réaliser mieux qu'une machine, et réciproquement, et aussi à mieux formaliser, modéliser même, un problème, des informations ou une situation organisationnelle.

Il nous semble important à cette étape du rapport de préciser les termes utilisés afin d'éviter la confusion des concepts, d'autant plus qu'au niveau des représentations sociales, il y a un risque que l'IA se substitue au terme informatique et depuis que l'IA est devenue un « concept marketing », la confusion s'amplifie. En effet, beaucoup d'entreprises revendiquent que leur offre ou leur produit s'appuient sur l'IA alors qu'en pratique elles utilisent « juste » l'informatique avec pas ou peu de traitements de données ou de signal élaborés.

Revenons sur le mot informatique dont la dénomination fut et est toujours sujet à controverse[34]. Cette controverse traduit l'étendue de son champ d'action qui relève à la fois des concepts qui structurent les données (*data*), des concepts des opérateurs qui agissent sur ces structures (algorithmes), des schémas mentaux d'expression rigoureux et explicites qui les lient et les mettent en œuvre (langages de programmation) et enfin des ordinateurs[35] qui exécutent ces programmes éventuellement en interaction avec l'environnement. Le tout peut se résumer par les sciences de l'information et de son traitement par calcul. L'informatique relève donc à la fois du champ des connaissances descriptives du monde (représentations de mondes physiques ou de mondes imaginaires) et du champ des connaissances opératoires sur ces connaissances (pour interagir au sein de ces mondes). Les techniques d'intelligence artificielle

32. On peut noter que Douglas Engelbart militait contre ce terme et lui préférait celui de l'augmentation de l'intelligence humaine pour insister sur la nécessité de mettre l'humain au centre et de concevoir des outils à son service.
33. https://fr.wikipedia.org/wiki/Cognition
34. https://fr.wikipedia.org/wiki/Informatique
35. Dans une acception large : est ordinateur toute machine ou objet qui possède, même de manière minimale, un calculateur apte à exécuter une suite d'instructions.

issues notamment des avancées de la recherche scientifique de ce domaine dont les succès impressionnent tant depuis les années 2010 ne sont qu'une petite partie de l'informatique. L'informatique ne se résume donc pas à l'IA.

2.5 Pourquoi une formation à la pensée informatique ?

Les concepts de l'informatique dénommés par Janet Wing [Wing-2006] « la pensée informatique » (computational thinking) sont de plus en plus reconnus comme un moyen de structurer la pensée. C'est à ce titre que le rapport 2018 de l'OCDE [OCDE-2018] sur l'éducation souligne qu'ils devraient faire partie des socles de formation pour tout apprenant.

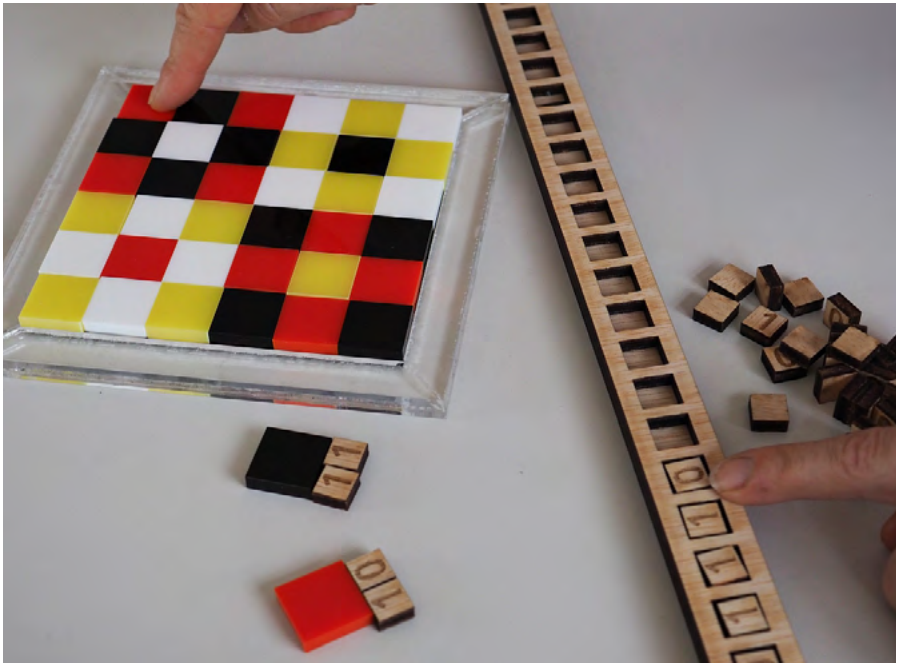
La pensée informatique[36] est l'ensemble des notions et des méthodes utilisées explicitement en informatique, pour représenter et résoudre des problèmes, notamment la notion d'algorithme qui y est centrale, mais aussi le traitement des données, les méthodes de résolution de problèmes, etc.

Cette panoplie de notions et de méthodes est utilisable dans d'autres domaines car elle inclut par exemple la capacité à :

- nommer de manière pertinente les objets en explicitant leur type ou catégorie pour les manipuler correctement ;
- maîtriser la complexité d'un grand problème ou d'un système en le hiérarchisant ou le scindant en plusieurs sous-problèmes plus simples ;
- spécifier dans ses moindres détails un procédé pour qu'il puisse s'exécuter sans ambiguïté de manière mécanique, etc.

Parmi ces notions et méthodes, nous trouvons donc l'algorithmique (réfléchir aux tâches à accomplir sous forme d'une série d'étapes), l'abstraction-modélisation (appréhender un problème à différents niveaux), la décomposition (décomposer un problème complexe en plusieurs problèmes simples), la reformulation (reformuler un problème pour mieux le résoudre), la généralisation (lier un nouveau problème à d'autres problèmes résolus, explorer et répertorier des stratégies de résolution), l'optimisation (choisir la manière la plus efficiente de résoudre un problème, dont la complexité algorithmique est intrinsèquement raisonnable[37] ou exponentielle) ou le contrôle (définir des moyens de contrôle des erreurs et de gestion de l'incertitude).

36. https://interstices.info/jcms/c_43267/la-pensee-informatique
37. Techniquement, polynomiale.



Jeu de médiation pour apprendre à coder en binaire. © *Inria / Photo L. Jacq.*

On parle de pensée informatique pour montrer que l'on ne souhaite pas uniquement initier à la programmation (au sens écrire un programme informatique), mais permettre aux apprenants de prendre du recul par rapport au numérique[38] (y compris de manière techno-critique) et positionner l'apprentissage de l'informatique comme une compétence transversale, pour aider à former des citoyennes et citoyens éclairés. Il s'agit bien d'acquérir des savoirs et savoir-faire qui vont servir, au-delà du simple développement informatique, à d'autres disciplines scientifiques, y compris en sciences humaines et sociales, et à d'autres domaines d'activités de notre quotidien. On parle parfois de littératie digitale[39]. Ainsi s'initie-t-on souvent, avant de passer p. ex., à la programmation, à la pensée informatique *sans* ordinateur ou autres objets numériques, grâce à des activités dites débranchées [delOlmo&al-2020] pour, à la fois, se libérer de la complexité technologique lors de l'apprentissage et découvrir les notions fondamentales en informatique (codage de l'information, algorithmes, etc.) à travers des métaphores liées aux objets et actions du quotidien.

38. Déjà évoqué en introduction, on rappelle que la science informatique est au coeur du numérique, domaine dont l'acception est bien plus large : https://www.lemonde.fr/blog/binaire/2014/01/20/linformatique-la-science-au-coeur-du-numerique-2

39. Voir https://pixees.fr/pour-nos-enfants-litteratie-digitale-ou-science-informatique pour un exemple de référentiel de compétence.

2.6 De l'apprentissage de l'informatique à celui de la pensée critique

L'apprentissage de l'informatique doit pouvoir s'accompagner d'une éducation aux médias par le biais de laquelle est développée une pensée critique tant sur des informations diffusées par des médias d'information que sur les processus de création et diffusion de ces informations. Le déferlement d'infox *(fake news)* accompagnant cet immense progrès qu'est l'accès de tous à la parole publique, nous rappelle qu'il doit nécessairement s'accompagner d'un progrès parallèle de la pensée critique : puisque n'importe qui peut désormais s'exprimer publiquement, il devient essentiel que tout le monde sache s'interroger sur la pertinence de ce qu'il lit ou entend. Nous sentons confusément que l'enseignement des sciences et des techniques a quelque chose à voir avec l'enseignement de la pensée critique. Mais quoi ?

Il s'agit bien d'acquérir des savoirs et savoir-faire qui vont servir, au-delà du simple développement informatique, à d'autres disciplines scientifiques, y compris en sciences humaines et sociales, et à d'autres domaines d'activités de notre quotidien.

Tout d'abord, nous devons prendre conscience d'un effet paradoxal de l'enseignement des sciences et des techniques. Cet enseignement nous apprend à nous départir d'une défense, certes imparfaite, mais efficace contre les infox : le bon sens. En apprenant qu'il existe des nombres dont le carré est négatif, qu'un électron traversant un écran opaque percé de deux fentes peut passer par les deux fentes à la fois ou que nous pouvons construire une fusée qui va sur la Lune, nous prenons l'habitude de ne pas rejeter systématiquement les idées bizarres. Dès lors, pourquoi ne pas « croire » aussi que les vaccins favorisent le développement de l'autisme, que la Terre est plate, ou encore que les téléphones portables font éclater le pop-corn ?

Bien entendu, la réponse est que l'existence d'un corps de nombres qui étend le corps des réels et dans lequel certains nombres ont un carré négatif se démontre, que les interférences de Young s'observent… Chacun de ces énoncés, bien que paradoxal, est étayé par une démonstration, un calcul, une observation, une expérience reproductible… ce qui n'est le cas pour aucune de ces fausses nouvelles.

Cela nous montre qu'il est plus important d'enseigner, par exemple, comment on prouve le théorème de Pythagore, que de juste le faire apprendre et utiliser. Si nous énonçons ce théorème sans le démontrer ou bien encore si nous énonçons un principe physique sans le confronter à l'expérience, nous leur donnons le statut

de vérités révélées, que les élèves doivent croire – ou non – et nous ouvrons ainsi la porte au relativisme : parmi toutes ces vérités révélées, chacun et chacune peut choisir celles qu'il ou elle veut.

Mais, outre le fait que chaque énoncé doit être étayé par une démonstration ou une observation, ce que l'enseignement des sciences devrait nous apprendre est de savoir changer d'avis. Les mathématiciens ont d'abord conjecturé que la quadrature du cercle était possible, avant de changer d'avis quand ils ont démontré qu'elle ne l'était pas ; les biologistes ont d'abord supposé l'existence de la génération spontanée, avant de changer d'avis quand les expériences sont venues les contredire. C'est le propre de la démarche scientifique : on ne « décide » pas quels énoncés sont vrais ou faux, mais leur vérité s'impose à nous, parfois en contradiction avec nos connaissances antérieures ou nos espoirs, et nous devons faire avec. Il n'est donc pas grave de croire de prime abord que les vaccins sont peut-être à l'origine de l'autisme, ce qui est grave est de s'obstiner à le croire après que les erreurs et les manipulations dans l'article à l'origine de cette croyance ont été établies.

Cette faculté de développer un esprit critique et de changer d'avis ne s'apprend pas en étant spectateur du développement des sciences et des techniques et ce n'est pas en apprenant, que Pasteur a réfuté l'hypothèse de la génération spontanée avec l'expérience des ballons à col de cygne. C'est au contraire en étant acteur et en faisant nos propres hypothèses et en les réfutant nous-mêmes que nous acquérons la capacité à changer d'avis.

C'est ici que l'enseignement de l'informatique a un rôle à jouer car, de même que nous ne pouvons pas apprendre à jouer d'un instrument sans en jouer nous-mêmes, nous ne pouvons pas apprendre l'informatique sans en faire, en particulier sans écrire nous-mêmes nos propres programmes. Le processus de construction des conjectures en mathématiques et d'hypothèses dans les sciences de la nature est lent, et celui de leur confirmation ou réfutation par la démonstration ou l'observation plus encore. Si bien qu'il est difficile à mettre en œuvre dans un cours d'une heure. La boucle essai-erreur est beaucoup plus courte en informatique et nos conjectures sur nos programmes sont réfutées dès les premiers tests, en expérimentant leurs effets. Les élèves apprennent alors vite à dire « je pensais que… mais je m'aperçois que… je vais essayer autre chose. »

Ils s'aperçoivent aussi très vite que prétendre qu'ils ont raison, alors qu'une « conspiration » des ordinateurs et des réseaux s'ingénie à faire croire qu'ils ont tort, ne les mène nulle part. Au contraire, profiter de leurs erreurs pour les dépasser, et explorer de nouvelles solutions en voyant les choses autrement, permet de mener leurs projets à bien. Ici, la pédagogie de l'erreur permet de confronter ses

idées à la réalité, ou bien, comme par exemple dans un jeu vidéo, recommencer pour progresser avec persévérance ; c'est un usage pédagogique de la démarche de recherche. La spécificité est que le temps de rétroaction est très court donc le cycle essai-erreur très rapide.

2.7 Qu'est-ce que la formation aux fondements et usages du numérique ?

Il va de soi que la formation à la pensée informatique contribue à comprendre et construire de manière éclairée ses propres usages du numérique. Mais elle ne suffit pas : il faut aussi une formation à la technologie. Ne serait-ce que pour choisir un matériel informatique, accepter totalement, partiellement ou pas les cookies, il faut que les termes techniques fassent du sens. Si on se contente d'apprendre à utiliser un logiciel à travers un simple mode d'emploi, comme cela fut le cas dans le programme du B2i[40], on n'est évidemment pas en mesure de passer aisément à un autre logiciel, ni de faire face à une situation imprévue. Or, c'est la « norme » dans le domaine informatique où les évolutions matérielles, logicielles, algorithmiques sont permanentes et souvent profondes. Sans entraînement de la capacité d'apprendre à apprendre, pas de développement de la capacité d'adaptation qui est fondamentale dans ce domaine.

Un exemple simple : « je viens de faire un numéro de téléphone et je me suis trompé d'un seul chiffre, et bien figure toi que je suis tombé sur une personne qui n'avait rien à voir avec mon destinataire :) ». Pour les URL[41] (ou « adresses Web ») il y a la même évidence. Sans comprendre ce que sont ces « https://www.bidule.com », on se fait immédiatement piéger par un site pirate qui ressemble au site originel, car on ne lit même pas l'adresse, puisque ces symboles n'ont aucun sens. Comprendre les URL est un premier levier de l'usage éclairé et sécurisé du Web.

L'introduction de l'enseignement de ses fondements au primaire et au secondaire a montré que l'introduction à la pensée informatique pouvait être intégrée à l'École. À titre d'illustration, les fondements de la programmation s'appuient sur quatre concepts : (i) la séquence d'instruction, (ii) l'affectation d'une variable, (iii) le test et (iv) la boucle d'instruction, qui sont faciles à expliquer et à comprendre comme illustré dans la figure page suivante.

40. https://fr.wikipedia.org/wiki/Brevet_informatique_et_internet, en cours de remplacement par Pix
41. *Uniform Resource Locator* : https://en.wikipedia.org/wiki/URL

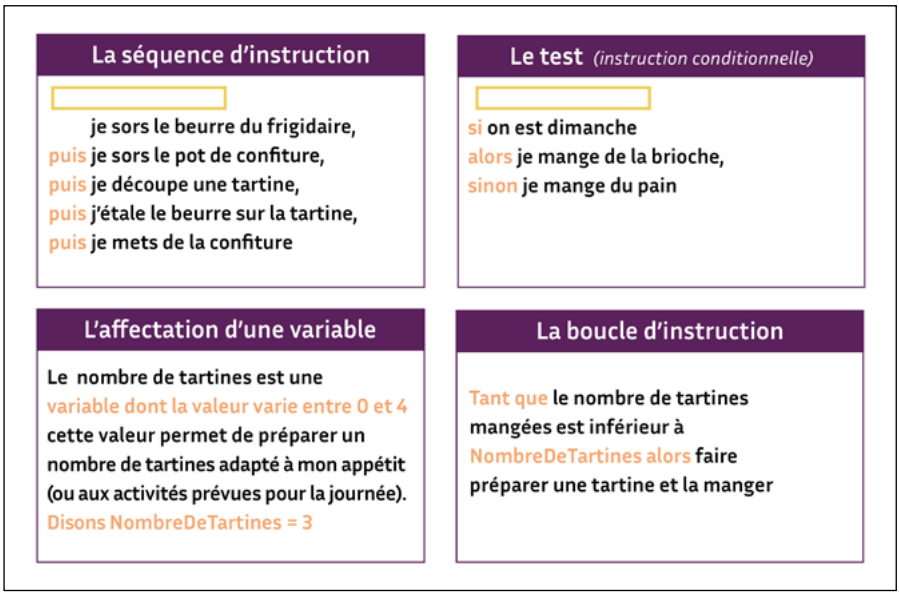


Figure 4. Conception et rédaction : médiation scientifique, relecture éditoriale, mise en page et illustration. © Sophie de Quatrebarbes novembre 2014.

Il faut surtout se placer dans une démarche d'apprendre à apprendre car cela permet de développer un véritable savoir-être et savoir-devenir par rapport au numérique : on prend confiance, on fait ses propres choix d'usage, on apprend aussi à détourner des outils à d'autres fins. Par sa très grande souplesse et ses vastes possibilités et bien qu'il ne soit pas le seul, l'outil numérique est un formidable terrain de développement de la créativité.

En matière d'usage, il s'agit moins d'un apprentissage individuel que collectif au sein d'écosystèmes humains : le numérique est aussi une culture, parce que collectif. Maîtriser les usages implique nécessairement de développer de bonnes pratiques, au-delà de l'emploi isolé des outils.

Enfin, parce que le numérique a une place majeure dans l'économie du monde, il est important de comprendre les mécanismes qui le régissent, notamment les mécanismes de gratuité apparente, de modalités d'accès à l'information, de l'exploitation des données, et donc des biais et de manipulation qui en sont la conséquence. Ces connaissances d'usage participent de l'apprentissage et de l'exercice de l'esprit critique.

Un exemple simple : je poste un courriel à plusieurs destinataires et veux en informer une personne ; dois-je la mettre en copie cachée ou lui transmettre l'email envoyé ? Ça semble techniquement la même chose, et ça l'est. Mais le « méta-message » n'est pas du tout le même, surtout si la personne « brise » le silence et répond directement à tous les destinataires, révélant avoir eu le message sans qu'on le sache. L'expérience montre que le ressenti est très différent. Ces aspects relationnels et éthiques sont fondamentaux et il est indispensable de les acquérir. On parle de nétiquette[42], pour évoquer ces règles de conduite et de bonne pratique recommandées sur les supports numériques.

La question est alors « comment apprendre ces usages/bonnes pratiques » ? On peut suggérer deux pistes principales :

1) apprendre à apprendre le numérique : apprendre à choisir et suivre un tutoriel, à chercher sur les forums, à formuler une question sur un moteur de recherche ou pour demander de l'aide en y incluant tous les éléments nécessaires ;

2) apprentissage collégial : apprendre au fil de sa pratique et en interaction avec ses proches, en partageant également ce qu'on a pu s'approprier.

Ces deux pistes ne sont évidemment pas spécifiques au numérique, mais ce sont des leviers.

42. https://fr.wikipedia.org/wiki/Nétiquette

2.8 Qu'est-ce que la formation avec les méthodes et outils du numérique ?

Rappelons que la première étape est de se débarrasser des idées reçues sur le sujet, comme le résume la quatrième de couverture de l'ouvrage critique « Apprendre avec le numérique » de Franck Amadieu et André Tricot [Amadieu&Tricot-2014] :

> *« Ce que nous enseigne l'ensemble des travaux cités dans cet ouvrage est que la technologie n'est pas en soi un dispositif pédagogique. Le numérique n'est qu'un outil au même titre que le livre, le papier et le stylo. La question est bien de savoir quelle tâche soutenant l'apprentissage peut être réalisée avec l'outil. Il n'est pas possible d'aborder les technologies en s'abstrayant des tâches qui sont conçues pour cette technologie. On doit même aller plus loin en tenant compte des objectifs de ces tâches (quelle est la nature des connaissances à apprendre), des moyens et des contraintes imposées à l'apprenant (p. ex., un contexte d'utilisation incluant les ressources matérielles, les ressources temporelles et les ressources humaines) et plus largement du scénario pédagogique auquel participe la technologie. Il faut donc poursuivre les études sur les apprentissages qui s'appuient sur des technologies en examinant les tâches d'apprentissage et les conditions de réussite des apprentissages avec ces technologies. »*

Comme d'autres technologies auparavant, le numérique a créé des attentes importantes vis-à-vis des différentes difficultés éducatives comme le décrochage, la faible motivation ou encore les besoins d'adaptation des apprentissages. Une des premières idées reçues est l'amélioration de la motivation par le biais du numérique. Pourtant, la motivation n'est pas garantie par l'usage d'un certain outil numérique et reste dépendante de la tâche [Tricot-2006]. En lien avec cette idée, l'autonomie dans les apprentissages est également invoquée, notamment en contexte de formation à distance. Malgré la flexibilité offerte par différentes technologies pour faciliter la diffusion de ressources, l'autonomie et la capacité de régulation des apprentissages des apprenants restent des prérequis importants dans ces dispositifs [Cho&Shen-2013].

Parmi les technologies qui ont généré de grandes attentes, les jeux sérieux numériques *(serious games)* ont parfois été présentés comme une manière d'apprendre sans effort, permettant d'établir une « ruse pédagogique ». C'est-à-dire que les concepteurs de jeux sérieux pourraient être tentés de cacher les intentions pédagogiques du jeu, et ne rendre visible que sa mécanique, « apprendre à son insu » sans que l'intention pédagogique ne soit explicite. Cela va à l'encontre des démarches visant à apprendre à apprendre. Cette dissociation peut être dépassée si les mécaniques

de jeu et les mécaniques d'apprentissage sont alignées [Romero&Kalmpourtzis-2020] ou bien si le jeu est suivi d'une phase de conceptualisation et d'institutionnalisation des savoirs [Sanchez&Plumettaz-Sieber-2018]. Ces derniers soulignent l'importance d'une phase de *debriefing* avec les apprenants, permettant de conscientiser et d'institutionnaliser les connaissances mobilisées dans le cadre du jeu.

Une autre idée reçue est celle du remplacement de l'enseignant, alors qu'il s'agit d'un changement du rapport au savoir. Bien que les technologies permettent un accès à de nombreuses connaissances, l'apprentissage des savoirs scolaires nécessite un effort difficile à réguler de manière autonome. L'enseignant reste une personne clé pour réaliser la médiation entre les objectifs d'apprentissages et les besoins des élèves. Le numérique apporte à l'enseignant des ressources complémentaires (outils et contenus), mais ne remplace pas le rôle essentiel de ce dernier, tant dans l'ingénierie pédagogique que dans l'orchestration des activités en classe.

Au-delà des outils, les méthodes et concepts développés pour le numérique peuvent offrir un éclairage intéressant dans plusieurs disciplines. En mathématiques, la pensée informatique représente un apport majeur pour la résolution de problèmes. Par exemple, l'élève pourra distinguer au niveau des exercices ce qui relève de l'application mécanique d'un algorithme qu'il exécute pour obtenir le résultat (p. ex., un calcul à base de règles algébriques), de ce qui relève d'une autre forme de pensée (p. ex., un raisonnement géométrique sur un graphique). En français, bien distinguer la notion de langue (humaine) de celle de langage (formel) permet de prendre de la hauteur par rapport aux problèmes de grammaire ou de tournure de phrase. Dans les autres matières, distinguer les connaissances qui relèvent de la mémorisation de données (p. ex., une date) ou de simples savoirs (au sens de ce que l'on trouve sur *Wikipédia*), de connaissances qui nécessitent une véritable élaboration (p. ex., une analyse critique) et contribuent à apprendre à apprendre. Une fois de plus, le numérique n'est pas la seule approche pour une telle démarche mais son existence facilite cette différenciation.

L'apport du numérique à la formation s'opère à différents niveaux d'interaction : transversalité des outils numériques, accès à des contenus de formations à distance et à tout moment, personnalisation des parcours d'apprentissage, tutorat en ligne, mutualisation des ressources, et communauté de pratiques. Il y a aussi en amont des utilisations du numérique pour concevoir des apprentissages/des dispositifs pédagogiques (y compris qui n'utilisent pas le numérique), par exemple pour optimiser en amont des parcours d'apprentissage ou pour évaluer l'ergonomie d'un dispositif éducatif (pas forcément numérique).

La transversalité des outils numériques permet, une fois acquis le fonctionnement de ceux-ci, de pouvoir les utiliser dans différents domaines et ainsi de renforcer la facilité à les mobiliser.

Pouvoir accéder en tout lieu et en tout temps à des contenus de formation est un apport essentiel à la démocratisation et à la diversification des connaissances et des apprentissages. Il faut cependant en connaître les limitations, traiter les problématiques d'évaluation de leur pertinence et de manipulation des opinions : naviguer sur le Web[43] pour acquérir des connaissances sur la Terre amènera inévitablement à rencontrer la théorie de la Terre plate à travers des publications parfois bien écrites et astucieusement argumentées.

Ainsi, un balisage, une validation, une confrontation des points de vue sont nécessaires pour que ces contenus puissent être des vecteurs raisonnés de connaissances et constituer des sources fiables.

Au sein des dispositifs de formation à distance, citons entre autres les MOOC *(Massive Open Online Course)*, formations en ligne ouvertes à tous, capables d'accueillir un grand nombre de participants, et les dispositifs hybrides distanciels/présentiels *(blended-learning)*. Ce sont des moyens de proposer des contenus structurés, le plus souvent validés par des experts reconnus. Cependant, offrir la possibilité de suivre des parcours de formation de manière autonome ne garantit pas aux utilisateurs de parvenir jusqu'au bout du parcours d'apprentissage, les abandons avant la fin d'un MOOC sont même très nombreux. Bien que l'on puisse considérer qu'il n'est pas toujours indispensable d'aller au bout d'un MOOC – tout dépend de ce que l'on est venu y chercher et s'il y a une certification à la clé – le numérique propose des outils pour accompagner l'utilisateur, renforcer sa motivation, en permettant l'intervention simplifiée de tuteurs humains ou logiciels.

Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) reposent sur une stratégie d'apprentissage où les utilisateurs sont guidés individuellement dans un parcours établi par des experts du domaine disciplinaire concerné. L'intelligence artificielle, essentiellement l'apprentissage automatique *(machine learning)*, produit des algorithmes capables de suivre pas à pas le parcours d'un utilisateur, et de lui proposer à tout moment les contenus les plus adaptés à son profil afin d'optimiser son apprentissage.

43. Nous en profitons pour rappeler que l'Internet est un protocole de communication par paquets sur une infrastructure de réseaux non centralisés. Le Web est une application qui se déploie sur l'Internet. On utilise un navigateur Web connecté à Internet construit sur les protocoles du Web permettant de naviguer sur les contenus stockés sur des serveurs Web.

Grâce aux outils collaboratifs disponibles sur le Web, il est facile de créer des communautés d'utilisateurs publiques ou à accès réservé, des forums en ligne, des listes de diffusion par e-mail. Cette mise en relation d'individus distants intéressés par une thématique commune est un changement important dans les rapports sociaux, dématérialisant et accélérant les échanges, facilitant la solidarité et la circulation des informations de toute nature. Ceci a ainsi permis l'émergence des communautés de pratiques (CoP) [Wenger&al-2002] qui peuvent venir renforcer les connaissances, partager l'expérience et briser l'isolement des membres de la communauté.



Quels défis ?

3.1 La formation des enseignants

Les parents accompagnant leurs enfants pour assurer une continuité pédagogique pendant le confinement dû à la pandémie de Covid-19 ont pu constater l'importance du rôle de l'enseignant. Enseigner reste un métier très exigeant qui s'apprend [Gruson&al-2020]. Le contexte de confinement a mis davantage en lumière le rôle des enseignants dans l'ingénierie des activités d'apprentissages et l'accompagnement des élèves. Au cours des différentes enquêtes PISA, le « facteur enseignant » apparaît comme l'un des plus importants dans la réussite des élèves. L'analyse du succès du système finlandais développé par Simola [Simola-2017] souligne l'importance de la sélection initiale des futurs enseignants et leur développement professionnel par la formation initiale et continue. L'enjeu de la formation des enseignants est mis en avant par l'OCDE mais également dans le rapport de l'institut français de l'éducation (IFE) « *Commencer à se former pour enseigner* » réalisé par Claire Joubaire (2019)[44]. À l'heure actuelle, le système de formation continue des enseignants en France est limité en durée (4 à 10 jours par an) [Louveaux-2019], ce qui contraste avec des systèmes éducatifs proposant 15 jours de formation continue en Suède ou 24 jours aux Pays-Bas [McKenzie&Santiago-2005] par exemple. L'analyse des pratiques de formation continue pour le développement professionnel des enseignants réalisée par l'OCDE [OECD-2004] signale que 50 % de ces formations concernent principalement les usages du numérique pour l'éducation. Les opportunités pour développer les différentes compétences professionnelles sont inégalement disponibles dans les différents territoires. Les compétences professionnelles des enseignants définies au niveau européen par le *Common European Principles for Teacher Competences and Qualifications* (2010) distinguent **trois compétences clés pour les enseignants,** dont la capacité à :

1) travailler avec les autres (élèves et collègues) ;

2) travailler avec et dans la société ;

3) travailler en utilisant ses connaissances, qu'elles soient disciplinaires ou non (Joubaire, 2019, p. 23).

Dans le « *Référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation* » (2013[45]) du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, les compétences numériques sont également définies parmi les compétences clés à développer par les enseignants tant en formation initiale qu'en formation continue (« *Intégrer les éléments de la culture numérique nécessaires à l'exercice de son métier* »). Par ailleurs, le renouvellement du référentiel est motivé par le besoin de « *former les élèves pour qu'ils soient capables de s'adapter tout au long*

44. http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/131-septembre-2019.pdf
45. https://www.education.gouv.fr/cid73215/le-referentiel-de-competences-des-enseignants-au-bo-du-25-juillet-2013.html

de leur vie à un environnement en constante évolution, de plus en plus mondialisé, multiculturel, divers et complexe, marqué par le numérique et la transformation de nombreux métiers. Il s'agit à la fois de leur faire acquérir des connaissances solides, de les rendre capables de mobiliser leurs acquis à l'école et dans la vie, d'encourager leur curiosité et leur créativité, de leur donner la volonté de continuer à apprendre et d'entreprendre en mobilisant leur intelligence collective » (§ 18).

Cette démarche révèle une tension : le manque de temps de formation entraînera le fait que la formation à des usages d'outils numériques déjà pensés pour l'éducation sera favorisée par rapport à la nécessaire prise de recul discutée ici. Sans une connaissance préalable d'un répertoire d'outils numériques, les enseignants ne pourront pas envisager des usages pédagogiques de ces outils.

Sans une connaissance préalable d'un répertoire d'outils numériques, les enseignants ne pourront pas envisager des usages de ces outils.

Le Conseil de l'Europe (CE[46]) recommande également de développer les temps professionnels pour « *la réflexion, la planification, les relations avec les parents et la collaboration avec d'autres professionnels et collègues* ». Dans une approche centrée sur la communauté, l'éducation peut être envisagée comme un système multiacteur en amélioration permanente. Leur recommandation est de développer un système à « *forte culture du dialogue et de la réflexion, qui favorise un processus continu de développement et d'apprentissage entre les acteurs à tous les niveaux* ».

Au-delà de la nécessaire formation aux fondamentaux de l'informatique, les professionnels de l'éducation doivent développer la capacité à analyser les différents usages du numérique dans le contexte des différentes tâches, mais aussi pouvoir intégrer différents types d'outils numériques pour envisager ensuite le potentiel pédagogique de ces outils. La formation aux usages du numérique doit tenir compte tant des usages numériques déjà pressentis d'un point de vue pédagogique (p. ex., les jeux sérieux ayant été conçus avec une intention à la fois ludique et pédagogique), que des usages numériques généraux (p. ex., les tendances à utiliser les jeux numériques afin de permettre aux enseignants de détourner leur usage ludique pour en faire un usage pédagogique, comme c'est le cas avec *Minecraft* avant l'apparition de la version *Minecraft Education*). Cela inclut des formations à l'IA, dont l'usage augmente, parfois sans le savoir : utilisation d'un assistant vocal ou d'un site web avec des quiz « personnalisés » qui donnent un score (avec la tentation d'utiliser ces scores comme une note, alors que ce score sera pondéré par le profil de l'apprenant et ne

46. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019H0605(01)&from=EN

doit pas être pris pour une note) ou des recommandations (avec le risque qu'elles soient biaisées ou parcellaires). Un état des lieux de ce type d'usages aujourd'hui par les enseignants sera l'une des recommandations de ce rapport, avec l'idée d'intégrer cela dans la formation, pour que cette utilisation se fasse ensuite en conscience et avec la capacité de transmettre le savoir lié à ces usages.

Au cours du confinement, l'accompagnement de l'apprentissage distanciel au sein des familles a mis en évidence le besoin de développer les compétences numériques nécessaires pour soutenir la conception des situations d'apprentissage à distance, tout en tenant compte des adaptations nécessaires selon le contexte des élèves et le besoin de développer des critères pour choisir et faire usage des différents outils numériques pour les activités et l'accompagnement pédagogiques. Par exemple, la publication [Frau-Meigs-2020] analyse qualitativement ce qui a été vécu et elle montre la nécessité d'une vraie formation à ces outils mais surtout aux méthodes d'enseignement en ligne et constate qu'elles peuvent s'imposer sans validation de leur efficacité pédagogique et sans évaluation des risques éthiques de leur adjonction à l'enseignement présentiel. Il faut une intervention publique car l'Éducation ne peut être laissée sans maîtrise aux forces du marché : c'est bien là la menace réelle du déplacement des enseignements vers le numérique, et non la formation en ligne, elle-même. Il s'agit donc bien d'accompagner la transformation numérique dans l'éducation en respectant l'éthique et les valeurs associées.

Dans le cadre du référentiel de formation des enseignants de 2019, la neuvième compétence commune (CC9) a pour objectif de développer la capacité des enseignants à « *intégrer les éléments de la culture numérique nécessaire à l'exercice de son métier* ». Cette compétence est nécessaire à la prise en compte de la diversité, du suivi des apprentissages, de leur évaluation et de la conception de modalités pédagogiques renforçant la différenciation et les apprentissages collaboratifs, ainsi qu'à la mise en place de modalités de formation tant en contexte d'hybridation que de formation à distance.

Bien que cette compétence commune soit explicitement reconnue, la manière de la mettre en place au sein des différents temps de formation des enseignants des premier et second degrés n'est pas explicitée. Dans un contexte de réduction des heures de formation dans les nouvelles maquettes du master « *Métiers de l'enseignement, de l'éducation, et de la formation* » (MEEF), la formation au numérique des enseignants risque dans certains instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation (INSPÉ) de se retrouver dispersée au sein des disciplines scolaires, au lieu d'être développée dans un enseignement spécifique, en lien avec les disciplines et les approches interdisciplinaires, mais permettant de garantir l'accompagnement et le développement de la compétence numérique des enseignants. Le déploiement

du référentiel « *Pix enseignant* » au cours des prochaines années sera également à prendre en compte dans l'accompagnement des enseignants sur leur développement de compétence numérique. Les différences dans les usages développés par les enseignants peuvent également être un facteur d'inégalité. Des élèves n'ont pas le même accès aux mêmes types d'activités selon le degré d'accessibilité et d'intégration du numérique de leurs enseignants. Accompagner l'ensemble des enseignants dans leur compétence numérique et leur capacité à choisir de manière éclairée les usages du numérique pouvant soutenir certains processus d'apprentissage devrait permettre de réduire ces inégalités liées à l'appétence et aux usages, très différents, des enseignants en lien avec le numérique.

Dans les missions de l'institut des hautes études de l'éducation et de la formation[47] (IH2EF), dans le cadre de la formation des personnels d'encadrement, se trouve le management du numérique éducatif tel qu'exprimé sur le site web associé : « *Le service public du numérique éducatif, instauré par la loi de refondation de l'école de la République du 8 juillet 2013, a pour mission d'organiser une offre de productions pédagogiques numériques à destination de l'ensemble de la communauté éducative, pour aider l'école à accomplir ses missions fondamentales d'instruction, d'éducation et d'émancipation* »[48].

Le défi de la formation des enseignants est donc essentiel à relever, avec l'ambition et les moyens de celle-ci, d'autant que les enjeux sociétaux qui y sont liés sont critiques, en premier lieu desquels se trouve la réussite pour tous et toutes.

3.2 La réussite pour tous

La réduction des fractures numériques et l'amélioration de l'inclusion numérique doivent être abordées tant sur le plan des inégalités territoriales, de l'éducation au numérique, que du point de vue de la conception universelle *(Universal Design)* des services numériques, des ressources EdTechs, des situations d'apprentissage et des activités d'apprentissage médiatisées par le numérique. La conception universelle qui existe dans différents domaines professionnels et dans le secteur éducatif a donné lieu à un champ de travaux et de normes connues sous le terme d'*Universal Design for Learning* (UL) [Hall&al-2012].

47. Créé en décembre 2018, l'IH2EF a pour mission principale la conception, le pilotage et la mise en œuvre de la formation des personnels du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.
48. https://www.ih2ef.education.fr/fr/ressources-par-theme/priorites-nationales/management-du-numerique-educatif/

Gagner le pari de la réussite pour tous dans l'éducation nécessite de traiter l'échec scolaire avec efficacité, pour éviter aux élèves de décrocher, y compris au niveau du numérique, comme l'a mis en lumière la situation liée au Covid-19 [Dehaene-2020] ; le point clé est la notion d'inclusion numérique.

LA NOTION D'INCLUSION NUMÉRIQUE

Un enjeu pour l'ensemble de la population est l'*inclusion numérique*[49], souvent opposée au phénomène des différentes *fractures numériques* qui peuvent se produire quand une partie de la population ne peut pas exercer son rôle citoyen, éducatif ou professionnel par les difficultés d'accès ou d'usage du numérique. Les enjeux du numérique « concernent plus largement la capacité à maîtriser les technologies de l'information et de la communication en vue d'améliorer sa qualité de vie et sa participation aux différentes sphères de la société. Autrement dit, l'inclusion numérique n'est rien d'autre que l'inclusion sociale au sens où celle-ci implique la capacité effective d'exercer son rôle de citoyen actif et autonome dans une société où le numérique joue un rôle essentiel » [Brotcorne&Valenduc-2013]. L'inclusion numérique au sens défini par le CNNum [Abiteboul&al 2013] concerne l'ensemble de la population, dans toutes les facettes de son quotidien (p. ex., *« une personne à l'aise avec le numérique dans son univers familial et amical pourra se trouver perdue quand il lui faudra réinventer son métier »*) et les non-connectés (au niveau matériel ou en matière d'usage ou de prise de hauteur), devenus minoritaires, mais *« victimes prioritaires de la marginalisation sociale, culturelle et économique induite »*, tandis que l'inclusion peut *a contrario « constituer un formidable levier ou accélérateur de changement »*. Ce rapport propose sept recommandations, dont faire de la littératie[50] pour tous et toutes le socle d'une société inclusive et on pourra rapprocher ces recommandations générales de celles proposées dans ce document en matière d'éducation.

Selon le ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports[51], *« le décrochage est un processus qui conduit chaque année un grand nombre de jeunes à quitter le système de formation initiale sans avoir obtenu une qualification*

49. https://cnnumerique.fr/nos-travaux/inclusion-numerique
50. Qui se définit selon l'OCDE (*La littératie à l'ère de l'information*, 2000) comme *« l'aptitude à comprendre et à utiliser le numérique dans la vie courante, à la maison, au travail et dans la collectivité en vue d'atteindre des buts personnels et d'étendre ses compétences et capacités »*.
51. https://eduscol.education.fr/cid48490/enjeux-et-objectifs-de-la-lutte-contre-le-decrochage-en-france-et-en-europe.html

équivalente au baccalauréat ou un diplôme à finalité professionnelle… Ce processus est observable quel que soit le système de formation initiale : formation relevant du ministère de l'Éducation nationale, du ministère de l'Agriculture, ou jeune sous statut d'apprenti. Il est la conséquence d'un désintérêt progressif de l'élève pour l'école, fruit d'une accumulation de facteurs qui tiennent à la fois au parcours personnel du jeune et à la façon dont fonctionne le système éducatif. »

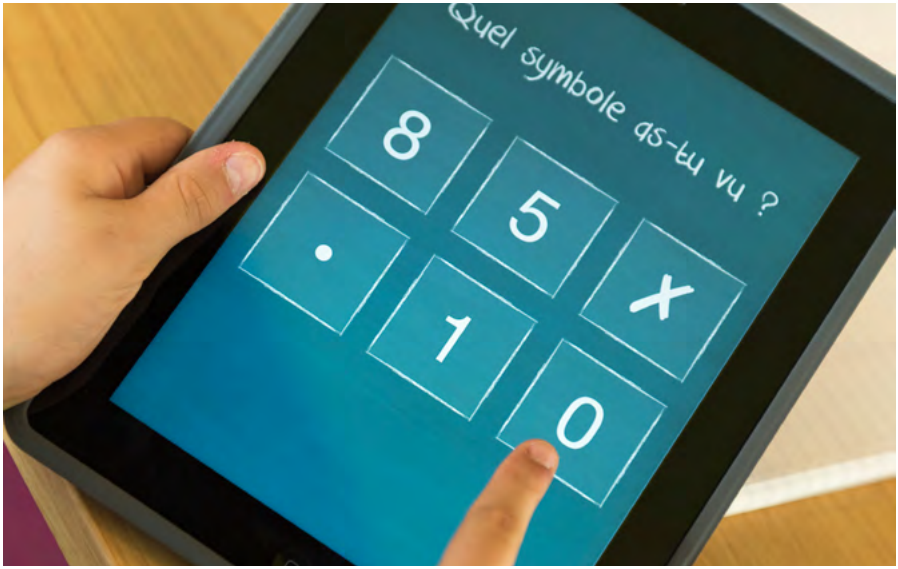
La lutte contre le décrochage constitue un enjeu majeur humain, social et économique. Le préjudice psychologique du décrochage est important en termes d'estime de soi et de qualité de vie. La non-valorisation des talents est un gâchis pour la société et menace la cohésion sociale.

UN CONSTAT INTERNATIONAL

Le programme PISA (*Programme for International Student Assessment*)[52] cherche à évaluer les résultats des élèves dans des systèmes éducatifs de différents pays, en évaluant ce que les élèves de 15 ans savent et comment ils s'en servent. À l'issue de *PISA 2015*, la France était 26e sur 70 pays (25e en 2012) alors que **pour l'égalité des chances en éducation, la France occupait la dernière place !** L'enquête *PISA 2018*[53] a porté sur 73 pays dont les 36 pays de l'OCDE. Les résultats publiés fin 2019 placent toujours la France dans la moyenne des pays de l'OCDE sur les performances scolaires (23e). Mais surtout la France est toujours l'un des pays de l'OCDE les plus inégalitaires ; la différence de performances dans *PISA* entre les élèves issus d'un milieu favorisé et ceux issus d'un milieu défavorisé est la plus grande et elle est nettement supérieure à celle observée en moyenne dans les pays de l'OCDE. L'école étant le creuset de la Nation depuis la création en 1794 de l'instruction publique, il est important de questionner le principe d'égalité de l'École de la République qui rejoint la maxime nationale mise au fronton de ses mairies. Enfin, *PISA 2018* indique également que **la France est l'un des pays où les élèves ressentent le moins de soutien de la part de leurs enseignants pour progresser dans les apprentissages et la place au même niveau que le Japon et la Corée du Sud sur le niveau d'anxiété des élèves !**
Voir également le rapport scientifique de septembre 2016 du CNESCO : « Inégalités sociales et migratoires : comment l'école amplifie-t-elle les inégalités ? » http://www.cnesco.fr/fr/inegalites-sociales/inegalites-de-resultats/

52. https://www.oecd.org/pisa/
53. https://www.oecd.org/pisa/publications/

Certes des mesures ont été prises et le site du ministère indique que le nombre de jeunes sortant chaque année sans qualification du système éducatif est passé de 140 000 en 2010 à 110 000 en 2014 et 98 000 en 2016 mais il reste encore beaucoup à faire et nous pensons que le numérique est un des leviers à actionner pour réduire encore ce nombre..



Assistant scolaire numérique, Collège+ qui facilite l'inclusion des élèves avec troubles du spectre autistique (TSA) en classe ordinaire. © *Inria / Photo G. Scagnelli.*

La réalité française

L'écart déjà très grand continue à se creuser entre ceux qui réussissent, le plus souvent issus des classes moyennes et favorisées, et ceux qui échouent, venant dans leur grande majorité des classes populaires. Parmi les jeunes en décrochage scolaire (source *PISA 2015*), 5 % sont des enfants de cadres et 45 % sont des enfants d'ouvriers. 75 % des enfants de cadres obtiennent un bac dans la filière générale alors que 70 % des enfants d'ouvriers décrochent un bac professionnel ou technologique.

Les origines du décrochage scolaire sont hétérogènes et pourraient être dues aux inégalités présentes dès l'école primaire. L'École propose souvent un traitement indifférencié des élèves. Les établissements et les enseignants s'efforcent de trouver des solutions pour prendre en compte la diversité des élèves mais la tâche est difficile, le système scolaire français restant plutôt normatif. Sa rigidité structurelle et fonctionnelle peine à prendre en charge les élèves peu « scolaires », qui comprennent

mal les codes de l'école. L'école trie, oriente, et n'accompagne pas encore assez la diversité des profils. Ce manque de prise en charge de la diversité des élèves, notamment des enfants de milieu défavorisé a été pris en compte dans des mesures comme le dédoublement des classes de primaire et on peut noter des résultats encourageants issus de projets de recherche comme ceux expérimentés en primaire avec *KidLearn* (§ Annexe 2) ou encore ceux en grande section de maternelle avec le projet *e.FRAN Ludo*[54] porté par l'unité de neuro-imagerie cognitive (Inserm-CEA, NeuroSpin) en partenariat avec les académies de Nice et de Poitiers.

Dans les objectifs d'une réussite pour tous, nous devons également considérer les différences de genre tant sur la formation que sur les carrières en sciences du numérique. Les spécialisations liées au numérique restent encore majoritairement masculines et ceci depuis l'école primaire où les biais de genre sont déjà présents. Au lycée, la spécialité Numérique et Sciences Informatiques (NSI) présente pour sa première mise en oeuvre des différences importantes de genre puisque seulement 2,6 % des filles contre 15,2 % des garçons l'ont choisie en classe de première ![55]

La formation au numérique doit tenir compte des biais de genre existant tant au niveau des représentations sociales, qu'au niveau des données et des ressources numériques traitées par les différents systèmes informatiques, et même des actions d'orientation aux métiers du numérique. Dans ce contexte, le récent ouvrage d'Isabelle Collet [Collet-2019] est un plaidoyer pour former les enseignants à enseigner le numérique sans biais de genre afin de changer les représentations de genre sur les métiers du numérique et sensibiliser les élèves aux biais de genre dans les algorithmes et l'intelligence artificielle. La conception selon laquelle les activités informatiques sont « techniquement neutres » doit pouvoir être complétée pour considérer que toute démarche de création numérique (récolte ou production d'une donnée, de ressource numérique ou encore de programme informatique) est aussi une démarche culturelle et citoyenne [Romero-2019a]. À titre d'exemple, quand l'apprentissage de la programmation se réduit aux activités de codage, les élèves peuvent développer une conception technique de l'informatique sans parvenir à appréhender la programmation comme une démarche d'expression créative qui fournira une réponse à des situations-problèmes et aux personnes engagées dans ces situations. En tenant compte de l'importance de dépasser une conception technique de la programmation, nous invitons les enseignants à ne pas se limiter à des activités de codage, mais à intégrer également des activités de programmation créative à leur enseignement afin que les élèves puissent développer la compétence

54. https://ludoeducation.fr : logiciel multiplateforme sur l'association des graphèmes et des phonèmes, mis en œuvre sur tablette qui se base sur les acquis des neurosciences avec un algorithme adaptatif aux résultats de l'enfant.
55. https://www.societe-informatique-de-france.fr/2019/12/note-sur-la-mise-en-place-de-la-specialite-nsi-decembre-2019/

de pensée informatique, tout en prenant en considération les biais de genre et envers les minorités dans la collecte, le traitement ou encore la diffusion de créations numériques. Par le développement des compétences de pensée informatique et de pensée critique, les élèves doivent pouvoir envisager la programmation comme une manière d'agir sur le monde et d'apporter des solutions à différents types de problèmes.

La place du numérique dans la recherche de solutions

D'après « *Regards sur l'éducation 2018* » [OCDE-2018], les pays les plus performants en éducation mettent l'accent sur la pédagogie différenciée, le travail en équipe, l'utilisation des nouvelles technologies dans les apprentissages, des méthodes d'enseignement innovantes. Où se positionne le numérique dans une telle stratégie ?

Le numérique peut être porteur d'illusions dont il faut se prémunir pour mieux percevoir des usages efficaces. Non, il ne suffit pas de mettre des accès internet et des tablettes numériques dans les classes pour que l'enseignement s'améliore et que l'échec scolaire recule. Les outils numériques doivent être au service de pédagogies et d'usages réfléchis et évalués pour de meilleurs apprentissages[56].

Afin de dépasser les limites des politiques locales ou nationales d'équipements de classes en ordinateurs portables ou en tablettes numériques, il est indispensable d'évaluer leurs éventuels bénéfices et coûts, notamment via le monde de la recherche.

Parmi les stratégies innovantes à explorer qui pourraient permettre de contribuer à améliorer la réussite scolaire, nous pouvons identifier **trois directions :**

1) la personnalisation des apprentissages, par le biais par exemple de modèles des tâches et des apprenants permettant de développer des Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) qui s'adaptent aux difficultés des apprenants au cours de leur activité, **mais aussi des parcours d'apprentissage** afin que les activités proposées soient adaptées personnellement à chaque élève ;

2) la diversification des méthodes d'apprentissage pour engager activement les apprenants par le biais de simulations, de jeux interactifs, de la réalité augmentée, de la réalité virtuelle ou encore des approches de fabrication numérique (maker education) et robotique pédagogique ;

3) l'enseignement, au sens large, de la science informatique, dont des concepts et procédures informatiques, mais aussi le développement de compétences transversales comme la pensée informatique.

56. https://www.lemonde.fr/blog/binaire/2020/07/10/le-numerique-va-revolutionner-leducation-vraiment

Personnaliser les apprentissages consiste à utiliser, par exemple, des algorithmes d'intelligence artificielle pour suivre pas à pas ce que fait l'élève dans un parcours numérique d'activités et lui proposer les activités optimales pour son apprentissage.

Par le développement des compétences de pensée informatique et de pensée critique, les élèves doivent pouvoir envisager la programmation comme une manière d'agir sur le monde et d'apporter des solutions à différents types de problèmes.

L'usage du numérique pour des activités uniquement réalisables par le biais des technologies permet de diversifier les stratégies d'apprentissage. Par exemple, l'usage de la robotique pédagogique dans des activités de repérage dans l'espace, permet d'apporter une rétroaction spatiale à l'algorithme conçu par l'élève. Cette rétroaction dans l'espace apporte une dimension complémentaire qui ne pourrait pas être réalisée sans un tel dispositif. De la même manière, la réalité virtuelle permet l'exploration de différents contextes historiques qui n'aurait pas pu être faite sans cette technologie. Ces différents supports sont un complément aux approches traditionnelles qui permettent d'enrichir la représentation des connaissances par des supports diversifiés. La modélisation des connaissances par le biais de différentes technologies (papier, tableau blanc, tablette, robot…) permet d'exploiter différents formalismes de représentation qui offrent la possibilité aux apprenants de structurer différemment les concepts qu'ils construisent au cours de ces différentes modélisations [Jonassen&al-2005]. Enseigner la science informatique permet d'apprendre aux élèves les notions d'algorithme, de calculateur, de langage, de donnée et d'information, avec des ordinateurs ou sous forme débranchée. C'est leur faire également réaliser des projets collaboratifs de programmation, avec une mention spéciale à la robotique qui ajoute un aspect tangible rassurant, à la frontière des mondes physique et numérique, permettant aux élèves, dans un nouveau cadre d'activités moins scolaire, d'exprimer leur potentiel dans la recherche de solutions. **Il faut souligner que ce potentiel existe et peut être mobilisé chez des élèves en difficulté scolaire, ce qui permet de leur redonner confiance et motivation.**

L'utilisation de méthodes issues de l'informatique, regroupées sous l'expression « pensée informatique » ou « pensée computationnelle » telles que présentées *en section 2.5*, peut aider les élèves à améliorer leurs compétences à résoudre des problèmes, en structurant leur démarche. Ainsi, découper un problème en sous-problèmes ou en étapes, modéliser, permet d'ajuster l'abstraction afin de clarifier un problème, rechercher des problèmes du même type ayant déjà été résolus pour

transposer leur résolution, tester des solutions pour les valider, etc. La résolution de problèmes est une tâche centrale dans les apprentissages. Les outils numériques permettent de mettre en place des situations d'apprentissages qui accompagnent les élèves dans la mobilisation des compétences de résolution de problèmes. Ces compétences sont également nécessaires au niveau de l'apprentissage de la pensée informatique [Romero&al-2018] [Menon&al-2019].



Quels sont les sujets de recherche ?

4.1 Une recherche pluridisciplinaire avec des communautés bien établies

La recherche autour des thématiques liées aux EdTechs présente un caractère pluridisciplinaire qui concerne des chercheurs aussi bien en sciences du numérique, en sciences de l'éducation qu'en psychologie pédagogique (sciences cognitives et neurocognitives). Les EdTechs nécessitent la combinaison des compétences liées à l'analyse des besoins d'apprentissage, de conduite de changement pour l'intégration des solutions ou d'outils numériques dans le contexte scolaire, de conception et de développement informatique, mais également d'évaluation des apprentissages et des dispositifs du numérique éducatif. Étant donné le caractère pluridisciplinaire de la recherche autour de la conception, les usages et les effets des EdTechs dans les processus d'enseignement et d'apprentissage, différentes communautés développent des travaux sur le sujet. En sciences de l'éducation, des chercheurs s'intéressent aux usages, aux pratiques effectives et aux effets de la médiation du numérique sur certains processus d'enseignement et d'apprentissage. Par exemple, l'influence des rétroactions sur les apprentissages ou encore celui des propriétés dynamiques des Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain (EIAH) sur l'apprentissage de la géométrie dynamique [Jones-2000].

Les recherches développées par la communauté en Sciences de l'Information et de la Communication (SIC[57]) prennent la perspective des médiatisations des processus d'enseignement et d'apprentissage et des interactions entre les acteurs. En sciences du numérique (SdN), la conception, le développement et l'évaluation des dispositifs technologiques présentent une grande diversité tant sur le type de technologie (modélisations et simulations, tuteurs intelligents, robots pédagogiques, réalité virtuelle, etc.) que sur la temporalité du processus : conception, intégration technologique, usages et comportements adaptatifs, évaluation, interopérabilité et durabilité des dispositifs dans l'évolution des contextes technologiques. La communauté EIAH ou des associations comme l'*ATIEF*[58] (Association des Technologies de l'Information pour l'Éducation et la Formation) visent à rassembler les chercheurs autour du numérique éducatif dans une volonté pluridisciplinaire. Dans ces communautés, nous observons une croissance des spécialisations thématiques, avec une émergence au cours des dernières années de l'analyse des traces d'apprentissage *(learning analytics)* comme élément permettant de développer des dispositifs pouvant s'adapter davantage aux besoins des apprenants avant ou pendant la tâche d'apprentissage [Romero-2019b]. Dans ce contexte, notons l'initiative *HUBBLE* qui a pour objectif *« de créer un observatoire national pour la construction et le partage*

57. https://fr.wikipedia.org/wiki/Sciences_de_l%27information_et_de_la_communication
58. http://www.atief.fr/

de processus d'analyse de données massives, issues des traces des environnements de type e-learning » afin de « *permettre la conception, la capitalisation et la réutilisation de ces analyses en associant des acteurs de différents domaines* » [Luengo&al-2019].

4.2 Quelques thématiques de recherche

Les thématiques de recherche autour du numérique éducatif présentent un niveau de spécialisation grandissant. L'intérêt pour l'étude de l'usage des technologies numériques pour faciliter les apprentissages s'est développé en même temps que l'informatique. Dans les années 70, des études sur les tuteurs intelligents et les travaux pionniers de Papert pour l'apprentissage de la programmation ont permis de développer des questions de recherche qui persistent à l'heure actuelle, dont celle du transfert de ces apprentissages dans d'autres domaines disciplinaires et d'autres situations d'apprentissage.

L'évolution de la recherche sur le numérique éducatif s'est opérée corrélativement à l'évolution des technologies, mettant un focus très important sur l'apprentissage hybride à distance dès la généralisation d'Internet et du Web, avec notamment l'apparition dès 2011 de cours ouverts et massifs (MOOC). Les approches liées aux jeux et à la simulation immersive (réalité augmentée, réalité virtuelle) se sont développées au fur à mesure des évolutions technologiques. À noter que plusieurs initiatives ont visé la création de standards pour la conception de technologies interopérables comme SCORM qui a été intégré dans les environnements d'apprentissage (*Learning Management Systems*) comme *Moodle*.

D'autres projets visent aujourd'hui à créer des standards pour les *learning analytics* basés sur des modèles de l'apprenant et des modèles des objets éducatifs *(learning objects)*. Ces initiatives sont souvent liées à des développements réalisés par des consortiums concernés par les EdTechs, mais pas toujours pris en compte dans les technologies sociales développées par les GAFAM. Des thématiques de recherche visent particulièrement l'apprentissage de l'informatique et des usages et enjeux du numérique à l'école pour les enseignants et envers le grand public. Cette situation a donné lieu à l'émergence d'une communauté scientifique visant à développer une didactique de l'informatique qui puisse répondre aux enjeux de la planification des apprentissages liés à cette discipline.

Financé à hauteur de trente millions d'euros, l'appel à projets *e-FRAN* (espaces de formation, de recherche et d'animation numérique) s'inscrit dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir 2 lancé en 2016. Son objectif était d'encourager

des projets de transformation de l'école, et de faciliter l'émergence de « *territoires éducatifs d'innovation numérique* » s'appuyant sur la recherche.

Les 22 projets retenus couvrent diverses thématiques du développement du numérique dans l'enseignement et réunissent des équipes de recherche de haut niveau en sciences cognitives, psychologie, informatique, neurosciences, sociologie, sciences de l'éducation, etc. Avec l'apport de la recherche, une cinquantaine de doctorants et postdoctorants ont rejoint les projets e-FRAN. C'est un dispositif ambitieux, avec la participation de 240 écoles, collèges et lycées, plus de 600 enseignants et 18 000 élèves, avec la mise en place de partenariats avec les collectivités et les associations. À noter cependant des biais qui viennent tempérer la réussite affichée de cet appel à projets[59]. Les projets *e-FRAN* ont permis le déploiement de solutions numériques avec des impacts et des résultats très diversifiés dans des domaines comme la robotique pédagogique (*Persévérons*), l'apprentissage de la lecture et de l'écriture (*Ludo*), l'apprentissage de la recherche grâce à l'outil numérique (*Savanturiers*), l'utilisation d'interfaces tangibles augmentées (*e-TAC*) ou encore l'analyse des traces (*learning analytics*) (*METAL*).

Enfin, un certain nombre de thématiques de recherche en informatique ont un impact direct sur l'élaboration de nouvelles méthodologies pour le support des processus d'enseignement et d'apprentissage. Parmi celles-ci, on peut citer :

• ***Machine learning :*** construction de parcours adaptatifs prenant en compte la dynamique des apprenants, correction automatique, identification et qualification des compétences acquises et non acquises, évaluation des technologies numériques à travers l'analyse des résultats des apprenants.

• **Analyse des données (parfois massives)** : analyse des traces, profilage des apprenants, anonymisation des données.

• **Web sémantique** : agrégation des ressources pédagogiques, construction personnalisée de parcours, analyse des graphes des réseaux sociaux, analyse des dynamiques sociales, *clustering* sémantique des apprenants pour proposer des groupes (homogènes ou non).

• **Simulation numérique** : intégration des simulateurs comme *Sofa* ou *Samson* dans une formation (travaux pratiques interactifs et collaboratifs…).

• **Interaction Homme-Machine** : méthodologie de construction de travaux pratiques en réalité virtuelle/augmentée et/ou avec des objets réels (robotique éducative, *Poppy Station*, utiliser son *smartphone* comme périphérique, etc.).

• **Authentification** : authentification massive des apprenants dans le cadre d'une certification sans les identifier (personne physique) et de manière plus générale, répondre à la problématique de la personnalisation tout en garantissant l'anonymisation.

59. http://www.cafepedagogique.net/lexpresso/Pages/2017/02/06022017Article636219497284287898.aspx

• **Document 3.0** : construction de contenu interactif qui s'écrit dynamiquement en fonction du niveau de compréhension du lecteur.

À titre d'illustration de travaux de recherche menés en France en *IA & Education*, nous renverrons le lecteur à la lecture du bulletin n° 108 de l'association française d'intelligence artificielle [AFIA-2020]..



Simulation de l'opération de la rétine basée sur le logiciel SOFA. © *Inria / Photo F. Nussbaumer – Signatures.*

4.3 Recherche en neurosciences en lien avec l'éducation

Commençons par inciter à une grande vigilance concernant les liens entre neurosciences et éducation avec ou sans numérique.

UN PRÉALABLE : DISTINGUER NEUROSCIENCE ET NEURO-BLABLA

Trop d'articles pseudo-scientifiques occupent la scène médiatique et créent de la confusion, avec un titre alléchant et des chiffres destinés à impressionner. La vérification des sources et du recoupement des arguments scientifiques est indispensable. Détaillons la mécanique de ces articles non scientifiques[60] : un titre alléchant, quelques allégations qui ne sont pas fausses mais ne font pas de sens (ill-defined), la citation de faits chiffrés impressionnants à lire mais sans utilité hors de leur contexte et sans aucun sens hors un dimensionnement d´échelle, la juxtaposition de quelques mots-clés ou mots à la mode sans les définir ni les expliquer, pour amener à une conclusion futuriste en « pourquoi pas »... et puis tout de suite après, une mise en garde (p. ex., *« il est nécessaire d'être prudent et de valider ces approches par des expérimentations concrètes en salle de cours et en distanciel »* et *« ne pas tomber dans les neuromythes »*... ce que l'article cité vient juste de faire pendant toute la première partie mais se dédouanant en citant une allégation que nous savons absurde (p. ex., le mythe des 10 % d'utilisation du cerveau), pour adopter une posture rigoureuse et critique, et bien insister sur le « pas » du « pourquoi pas » afin qu'évoquant une chose et son contraire, la chose ne soit jamais fausse. On pourra se référer au livre collectif *« Les neurosciences en éducation »* édité par André Tricot aux éditions du Retz qui démonte ces idées reçues (utilisation abusive de données IRM, mythes liés à l'apprentissage pendant le sommeil ou la stratification par âge du développement cognitif, etc.).

60. L'exemple illustratif est ici http://tinyurl.com/yy7mp25b choisi sans aucun parti pris, mais très simplement car en tête d'une recherche avec le moteur de recherche *Qwant*, le 31 mai 2019, https://www.qwant.com/?q=neuroscience%20EdTech&t=web ; le texte contient l'allégation *« les ordinateurs sont déjà des milliers de fois plus puissants que les cerveaux des étudiants »* qui est totalement vrai s'il s'agit de faire des additions, et totalement « ill-defined » si la notion d'intelligence implicitement convoquée ici n'est pas définie ; il cite le chiffre putatif mirobolant de 1,98 milliard d'euros pour l'éducation en ligne en 2021 qui pourrait aussi être jugé (de manière tout aussi irrationnelle) ridiculement petit puisque moins de 2 euros par habitant, tandis que la citation elle-même est prise dans un rapport orienté, puisque la société autrice a des intérêts commerciaux directement liés au sujet. Note : on a choisi ici le moteur de recherche *Qwant* car ses résultats sont plus reproductibles qu'un moteur qui personnalise les réponses de manière opaque en fonction des données personnelles collectées.

Au niveau pédagogique, les travaux expérimentaux en lien avec les sciences de l'éducation et la psychologie cognitive ont permis de valider quelques idées, cohérentes avec des réflexions de bon sens, principalement quant à :

• **optimiser l'attention**, en faisant une chose à la fois, en prenant des pauses régulières, et en variant les tâches cognitives quand on se sent bloqué ;

• **stimuler la mémoire,** en faisant des liens entre les différentes données, en utilisant des contenus et des apprentissages multimodaux (impliquant les mémoires procédurale, épisodique et sémantique) ;

• **entretenir l'engagement** de la personne apprenante, avec des mécanismes de récompense, en créant une situation d'apprentissage confortable, etc.

À PROPOS DE L'ATTENTION

Ces éléments relèvent de véritables études, prenons l'exemple de l'attention, sujet critique puisque l'on sait qu'avec l'utilisation non maîtrisée du numérique, la capacité apparente de l'attention se réduit chez les jeunes ; elle est d'ailleurs étudiée à plusieurs niveaux par Jean-Philippe Lachaux, y compris jusqu'à la production de ressources pédagogiques[61]. On y montre l'intérêt de comprendre la notion d'intention en amont de la notion d'attention, ou de comprendre les mécanismes (précieux) de distraction de notre cerveau (détection d'alertes), des exercices pratiques et ludiques pour prendre conscience des processus d'attention, et des distractions, y compris internes, pour permettre de mettre en place les solutions qui conviennent le mieux à chacune ou chacun. (en complément, le MOOC « l'attention ça s'apprend » https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:Canope+80002+session01/about)

En fait, les usages du numérique requièrent de nouvelles compétences en matière d'attention : risque de dispersion de l'attention avec des supports multimédia trop « décorés », besoin de savoir travailler en autonomie avec les ressources en ligne donc gérer sa propre attention et pouvoir maîtriser le méta-apprentissage (savoir apprendre à apprendre). p. ex., la lecture est souvent précédée d'une phase de recherche du contenu pertinent ce qui requiert d'autres formes d'attention que la lecture d'un ouvrage prédéfini.

61. La conférence introductive est disponible ici http://tinyurl.com/y5pfpvjh et la ressource pédagogique est à http://tinyurl.com/y5ja9fd2 tandis que les références d'un exposé scientifique sont à http://tinyurl.com/y5gphnyz.

Voyons comment utiliser les neurosciences pour comprendre comment apprendre.

Mieux se comprendre. Comme le soulignent le neuroscientifique Stanislas Dehaene (« *les enseignants doivent avoir un bon modèle mental du cerveau de l'enfant* ») et le psychologue Olivier Houdé, l'apport scientifique du fonctionnement du cerveau et du développement de l'enfant est un éclairage indispensable à la pédagogie. Nous pouvons citer Olivier Houdé : « *La pédagogie, c'est la science des apprentissages. Ce n'est pas seulement l'histoire des grands pédagogues : Montaigne, Freinet, Piaget, etc. Il faudrait dès lors que la science d'aujourd'hui, psychologie du développement de l'enfant et neurosciences cognitives, alimente la pédagogie. Les découvertes en ces domaines devraient avoir un impact à l'école, dans le secteur sociétal de l'éducation, tout comme les neurosciences associées à la médecine ont déjà un fort impact dans le secteur de la santé. À l'image de la médecine, la pédagogie est un art qui devrait s'appuyer sur des connaissances scientifiques actualisées. En apportant des indications sur les capacités et les contraintes du « cerveau qui apprend », la psychologie peut aider à expliquer pourquoi certaines situations d'apprentissage sont efficaces, alors que d'autres ne le sont pas. En retour, le monde de l'éducation, informé qu'il est de la pratique quotidienne – l'actualité de la pédagogie – peut suggérer des idées originales d'expérimentation.* »

[...] c'est en éclairant les enfants sur le fonctionnement de leur propre cerveau qu'on les aide à progresser, en leur fournissant des outils pour apprendre à apprendre.

L'expérience mentionnée dans l'encadré sur l'attention montre que c'est en éclairant les enfants sur le fonctionnement de leur propre cerveau qu'on les aide à progresser, en leur fournissant des outils pour apprendre à apprendre. C'est donc une démarche de médiation scientifique qui est à la base de l'utilisation des neurosciences en éducation. Il y a aussi quelques cas (p. ex., l'apprentissage de la lecture globale ou syllabique) où les études en neuropsychologie permettent de prendre position (pour la deuxième option), non sans noter qu'historiquement, l'erreur pédagogique de la lecture globale est justement due à l'application de théories qui n'avaient pas été vérifiées par une méthode scientifique réfutable (au sens épistémologique de « falsifiable »).

Ces travaux ont conduit à proposer des ressources pratiques dans la classe [Berthier&al-2018], plaçant l'enseignant dans une démarche scientifique expérimentale qui implique les élèves : on apprend à mieux se comprendre de manière objective dans ces « *Cogni'classes* »[62].

62. https://sciences-cognitives.fr/cogniclasses

Pédagogie de l'erreur. Un bel exemple de meilleure compréhension de la façon d'apprendre grâce aux neurosciences est ce que l'on appelle la « pédagogie de l'erreur ». Sur un plan neuroscientifique, l'erreur est avant tout traitée comme un écart à une attente, donc constitue une information précieuse permettant de réajuster ses conceptions et donc d'apprendre. Des chercheurs comme Kapur [Kapur-2011] mettent en avant l'efficacité de l'erreur pour l'apprentissage sous le terme d'erreur productive. En se trompant, on se donne des mesures pour s'améliorer, comme en apprentissage supervisé ou par renforcement en apprentissage machine. Qui ne fait jamais d'erreur se contente de vivre sur ses acquis. Cet élément est particulièrement pertinent par rapport au numérique puisque lorsqu'on interagit avec un logiciel, ce logiciel ne juge pas, il se contente de détecter une erreur ou non, ce qui fournit la possibilité de rejouer en quelque sorte indéfiniment. On constate ce levier p. ex., lors de l'apprentissage de la programmation, qui offre une seconde chance à des personnes démotivées, et permet aussi de cultiver d'une part la rigueur, puisque si un programme « marche à moitié » c'est en fait qu'il ne fonctionne pas, et, d'autre part, le doute, puisque si un programme « marche » à un instant donné, cela ne signifie pas que ce sera le cas dans d'autres contextes (non-détection *vs* absence de bug)

Motivation et engagement. La motivation et l'engagement sont deux concepts distincts, le second pouvant découler du premier[63]. L'engagement fait référence à la « qualité des efforts que les apprenants consacrent à des activités d'apprentissage qui contribuent directement aux résultats souhaités » [Hu&Kuh-2002]. L'engagement est très dépendant de la tâche et du contexte de l'apprenant. Bien qu'une activité puisse être engageante pour un apprenant, cela n'assure pas que l'apprenant développe ce même engagement dans d'autres tâches. En effet, la motivation correspond à des orientations personnelles envers des objectifs. La motivation peut être intrinsèque ou extrinsèque selon la source qui génère l'intérêt de l'individu. La motivation intrinsèque est interne à l'apprenant, tandis que l'extrinsèque est influencée par l'enseignant ou d'autres sources externes à l'apprenant [Ryan&Deci-2017]. Dans les usages du numérique, il a été parfois attendu des technologies qu'elles soient un vecteur de motivation extrinsèque, mais ceci n'est pas suffisant une fois passé l'effet de nouveauté. Plus généralement, en analysant les conditions de la réussite scolaire, il est apparu que l'absence de motivation intrinsèque pouvait entraver les apprentissages sans pour autant que ce type de motivation ne les garantisse ; c'est son engagement et pas uniquement sa motivation qui permet à une personne apprenante de mobiliser ses ressources cognitives pour réussir une tâche d'apprentissage. On a pu observer[64] cela tout particulièrement dans l'apprentissage de la pensée informatique et cet engagement est maximal lorsque l'apprentissage se fait à travers des activités

63. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00941/full
64. Voir p. ex., la revue proposée à http://tinyurl.com/y4dy77lk pour le premier aspect et cette publication https://hal.inria.fr/hal-02144467v1 pour le développement sur la cognition incarnée.

incarnées, hors des écrans. Il est assez probable qu'un grand nombre d'espoirs dans l'utilisation d'outils numériques, p. ex., de jeux éducatifs utilisant un logiciel, ou de démarches pédagogiques s'appuyant sur les échanges au sein d'un réseau social, ou sur la cocréation d'un contenu probablement éphémère sur un site collaboratif (p. ex., type wiki), s'appuient principalement sur ces idées : *(i)* de motivation par rapport à un outil nouveau et ludique, et *(ii)* d'engagement soutenu par tous les mécanismes de « gamification » au sens large. On observe [Menon&Romero-2019] à ce propos un élément-clé qui rejoint les éléments précédents : pour qu'un jeu pédagogique ne serve pas qu'à jouer, il semble important voire indispensable d'en expliciter les enjeux didactiques, pour que la personne se mette effectivement dans une situation d'apprentissage, comme discuté en section 2.8.

À propos des écrans. Les écrans font l'objet de nombreuses controverses en lien avec leurs effets sur le développement des enfants et les apprentissages. L'analyse des effets des écrans[65] peut se poser à trois niveaux : le premier est l'impact direct sur les structures cérébrales, le deuxième est le changement des comportements et le troisième est le type de médiatisation des activités d'apprentissage.

La question de l'impact sur le cerveau des technologies numériques fait polémique au sein de la communauté scientifique, son usage excessif pouvant entraîner des surentraînements, jugés alors positifs, de certaines structures cérébrales mais aussi des déficiences attentionnelles ou cognitives, et addictives [Sukel-2017]. Bien entendu les structures cérébrales en place depuis des millions d'années restent stables, notre cerveau reste « génétiquement constant », il s'adapte culturellement aux innovations de l'époque [Naccache-2018]. La question devrait plutôt être posée de manière plus subtile, sur le moyen de l'intégration des technologies numériques pour les apprentissages dans la salle de classe. Au niveau de l'attention, la revue bibliographique de [Lodge&Harrison-2019] fait émerger une situation complexe quant à l'usage des outils numériques sur les fonctions cognitives, positive ou négative selon les conditions, montrant surtout que les études dans ce domaine doivent se poursuivre.

La seule population sur laquelle les écrans pourraient avoir un impact significatif du point de vue du développement, sont les jeunes enfants. L'article de Lin, Cherng et Chen [Lin&al-2017] développe une étude quasi expérimentale dans laquelle la moitié des enfants (cinq ans) sont engagés dans un usage intensif d'une tablette. Ils observent que ce type d'usage peut être désavantageux pour le développement moteur fin des enfants d'âge préscolaire.

65. Nous n'abordons pas ici l'impact de la physique de l'écran (cf. p. ex., la « lumière bleue ») mais commentons principalement la partie contenu affiché sur l'écran.

L'utilisation excessive ou inappropriée du numérique présente aussi : *(i)* un risque de perte de temps, donc de ne pas faire d'autres choses essentielles, *(ii)* une fatigue oculaire[66] et cognitive réversible jusqu'à preuve du contraire [Cail&Sali-1992] *(iii)* et peut avoir un effet négatif ou positif à cause des contenus eux-mêmes. Cela modifie notre accès et notre rapport à la connaissance, mais pas les structures neuronales en lien aux apprentissages qui restent structurellement les mêmes. Bien que les changements en lien avec les usages du numérique ne changent pas la structure profonde de notre cerveau, ils peuvent venir à modifier les circuits liés à la récompense [Sigman-2017], ce qui est observé dans des usages addictifs notamment, avec les jeux vidéo.

L'usage d'un écran modifie l'activité d'apprentissage selon le type de médiation. L'écran peut être un moyen d'interaction pour créer le programme qui contrôle un robot, ou encore être utilisé comme support pour des activités d'écriture. Selon la tâche, l'effet des écrans présente des différences importantes. Il est alors important de tenir compte du type de tâche pour considérer l'intérêt de l'usage des écrans. Pour des activités où le numérique apporte une plus-value claire comme la géométrie dynamique, l'usage de technologies mobiles comme les tablettes est un atout. Cependant, pour des activités d'écriture et de prises de notes[67], les études comparant l'usage de technologies numériques et les supports papier font apparaître des controverses sur l'ergonomie des interfaces et la charge cognitive liée à la médiation numérique [Mueller&Oppenheimer-2014]. Bien que les outils numériques offrent des fonctionnalités bien au-delà de la prise de notes papier (exemples : corrections, possibilité de remodeler le texte, enrichissement avec des liens…), des études comme celle de Mueller et Oppenheimer observent que les étudiants qui utilisent leur ordinateur portable lors de la prise de notes ont tendance à davantage retranscrire ce que l'enseignant dit au lieu de traiter les informations d'une manière à réaliser une première structuration des informations. Dans le cas des livres pour enfants, l'étude de Kucirkova et ses collègues [Kucirkova&al-2019] signale que la médiation et les interactions entre les parents et les enfants sont de moindre qualité avec les livres numériques et nécessiteraient tant une amélioration de la qualité des livres numériques qu'un accompagnement sur le type de médiation à réaliser par les parents tenant compte des attributs particuliers de ce nouveau support. Kucirkova observe que quand les livres numériques pour enfants sont de qualité, ils peuvent développer leur intérêt pour la lecture, notamment chez ceux qui sont en risque d'échec scolaire.

66. Très étudiée depuis longtemps, la fatigue visuelle n'a pas de cause tout à fait claire et serait probablement plus liée à une fatigue cognitive que sensorimotrice périphérique, sauf à travailler dans de mauvaises conditions d'éclairage ou environnementales. C'est aussi un domaine avec pas mal d'idées reçues.
Avant le numérique, on disait que lire fatiguait (de manière non réversible) les yeux. Il s'agit la plupart du temps d'une déficience liée à l'âge comme rappelé récemment.
67. https://www.franceculture.fr/sciences-du-langage/ecrire-a-la-main-un-geste-du-passe

On peut aussi citer le système *CARDS* de réalité mixte pour l'apprentissage scolaire collaboratif qui explore des approches hybrides (sans écran) où le contenu numérique cohabite avec l'environnement papier-crayon [Giraudeau&al-2019]. Plus précisément, des informations numériques sont projetées sur des cartes en papier afin de les enrichir de façon contextualisée. Il a déjà été testé sur près de 140 élèves accompagnés de leurs enseignants.

4.4 Modélisation de l'apprenant

Les processus d'enseignement et d'apprentissage sont d'une grande complexité, tant par les aspects liés à l'apprentissage humain que par les caractéristiques de la situation d'apprentissage, la tâche et les supports numériques qui pourraient être considérés. Dans ce contexte de grande diversité, la modélisation de l'apprenant (ses connaissances initiales, son fonctionnement cognitif dans le cadre d'une tâche) est tout aussi importante que celle de la tâche d'apprentissage, afin de mieux comprendre (et parfois anticiper) l'interaction entre l'apprenant et les supports avec lesquels va se réaliser l'activité d'apprentissage.

Que ce soit avec les modèles explicites de connaissance ou avec des modèles d'apprentissage machine dont les résultats doivent être interprétés pour permettre leur validation en lien avec d'autres observables du processus ou des résultats d'apprentissage, la modélisation de l'apprenant demeure un problème non totalement résolu à ce jour. Il y a des formalismes ou des modèles phénoménologiques (p. ex., le modèle de Kolb) qui permettent à des humains de faire et de déployer des paradigmes via des approches générales constructivistes ou cognitivistes (voir les modèles cognitifs tel que « *Adaptive Control of Thought* » (ACT) d'Anderson ([Anderson-1983][Anderson-1996])[68]. Ce type de modèles reste très abstrait, et lors de la conception de systèmes, leur utilisation reste très limitée et seul un travail scientifique de recherche transdisciplinaire pourra lever ce verrou en introduisant des modèles opérationnels (comme ce fut le cas avec l'avènement des neurosciences computationnelles). Cette modélisation inclut évidemment l'action d'apprentissage de l'apprenant et les compétences savoir, savoir-faire et savoir-être qui sont enseignées.

De nombreux travaux anciens sur la modélisation de l'apprenant ont été réalisés avec des modélisations explicites à base de connaissances (voir p. ex., la revue dans [Danine-2010], chapitre 2). Ces modèles sont relativement lourds à construire ainsi qu'à mettre en œuvre et ont obtenu des résultats variables. Inspirés par les travaux de psychométrie en théorie de la réponse à l'item, de nombreux modèles ont été développés pour le traçage de connaissances [Vie&Kashima-2019], c.-à.-d. pour

68. Voir également https://en.wikipedia.org/wiki/Experiential_learning

prédire la performance des apprenants. On peut ainsi modéliser au cours du temps l'oubli et la rétention des apprenants [Choffin&al-2019], ce qui a des applications dans les systèmes de répétition espacée pour optimiser l'apprentissage et la mémoire.

Plus récemment, des approches où formellement il n'y a pas de modélisation de l'apprenant, donnent de très bons résultats pour des apprentissages très focalisés [Roy-2015]. Dans ce travail, la connaissance du domaine (c.-à.-d. « modèle cognitif ») est représentée par le graphe de dépendance des activités établi par l'expert du domaine. Il est minimal car il n'intègre pas les procédures de résolution, ni les variables didactiques, ni les autres connaissances non utilisées par l'algorithme « tuteur ». Le modèle apprenant est simplement constitué des scores de l'apprenant aux exercices proposés ; ici aussi, c'est un modèle minimal qui n'essaye pas de modéliser les connaissances acquises ou non. Ces deux modèles « domaine de connaissances » et « apprenant » nourrissent l'algorithme tuteur (ou modèle tuteur) qui est pour l'essentiel constitué d'un algorithme d'optimisation et de personnalisation. Cet algorithme est fondé sur une inférence statistique effectuée à partir des progrès d'apprentissage réalisés par l'élève sur les dernières activités effectuées. Trois expérimentations pour un nombre total de près de 1 000 élèves ont montré l'efficacité de l'algorithme et ainsi validé l'intérêt d'une telle approche Ainsi, les modèles cognitifs et apprenant, difficiles à construire pour être efficaces, sont minimaux à l'heure actuelle. Les technologies numériques ont davantage développé le modèle tuteur qui vise à pouvoir s'adapter à la fois à la personnalisation et à la motivation [Roy-2015].

À la lumière de ce succès, on peut avoir de fortes interrogations sur la pertinence des approches de modélisation explicite de l'apprenant telle que présentée dans [Danine-2010]. Mais par ailleurs, nous pensons que l'on ne peut pas, pour des raisons de reproductibilité de la science, pour des raisons d'interprétabilité et pour des raisons sociologiques, dire à nos concitoyens « je ne sais pas vous dire pourquoi ça marche, mais faites confiance au *deep learning* et laissez-vous guider par votre assistant numérique ». D'ailleurs, des travaux sur l'interprétabilité des résultats des mécanismes de *machine learning* se développent rapidement. Les approches actuelles utilisant l'apprentissage profond [Smith&al-2015] [Zhang&Shah-2016] ou autre [VanLehn&Martin-1997] [Clement&al-2015] pour modéliser l'apprenant ou pour gérer le tuteur ont aussi leurs limites, car ce sont des modèles implicites « boîte-noire » efficaces, y compris pour évaluer les apprentissages [Vie&al-2018] ou tracer les connaissances [Vie&Kashima-2019], mais qui ne sont pas facilement interprétables, ni faciles à mettre en lien avec des modèles de connaissance des sciences de l'éducation. Nous sommes convaincus qu'il existe des questions de recherche à développer sur des approches mixtes, combinant modélisation implicite et modélisation explicite (§ Annexe 1), à la suite de travaux

tels que [Gottlieb&al-2013] qui modélisent explicitement la curiosité et l'attention. Il semble que les échecs des premières approches d'IA pour l'éducation [Danine-2010] soient dus au fait que ces systèmes centrent la modélisation explicite de l'apprenant plus sur les connaissances liées au savoir et savoir-faire (c.-à.-d. les représentations des connaissances descriptives du domaine à apprendre[69]) que sur les compétences, attitudes prenant en compte les connaissances opératoires permettant de qualifier l'apprenant sur les quatre piliers de l'apprentissage proposés par Dehaene. Plus simplement dit, ces approches modélisent plus le contenu à apprendre que les conditions et les « représentations de soi » permettant de mieux apprendre.

La modélisation d'un apprenant ne peut se résumer au savoir et savoir-faire. En tant qu'humain dans sa fonction « apprenant », les deux autres dimensions de l'apprentissage que sont le « savoir-être » et « l'être » ne sont-elles pas plus importantes comme socle commun quelle que soit la discipline à apprendre ? Aujourd'hui, **les *« soft skills »* ou compétences comportementales** (attitudes, capacités et compétences transversales comme la confiance en soi, l'entraide, la bienveillance, la créativité, le bon sens, etc.) sont considérées comme des qualités importantes pour l'employabilité des salariés [Mauléon&al-2014] mais également pour le développement personnel des citoyens et des citoyennes du XXIe siècle [Romero&al-2017] [Taddei&al-2017]. Couplé à cette employabilité, il existe un autre sujet majeur, celui de l'orientation et des apprentissages tout au long de la vie (également § chapitre 5). C'est bien sûr un sujet complexe qui prend en compte plusieurs dimensions d'un individu et qui ne peut se ramener à la seule dimension du savoir ou du savoir-faire.

Cela amène à poser la question de ce qu'est un apprenant et, derrière cette question, la réflexion sur la modélisation d'un apprenant ou d'une typologie d'apprenants sous toutes les dimensions de l'apprentissage, ainsi que le couplage entre les différentes connaissances (savoir, savoir-faire, savoir-être et être) et les piliers de l'apprentissage issus des neurosciences cognitives (l'attention, l'engagement, le retour d'information et la consolidation). En particulier, la mise au point de systèmes tutoriels intelligents exploitant une telle synergie pourrait fournir des outils importants pour faciliter les pédagogies différenciées et aider dans leurs apprentissages des enfants à profil particulier.

Vers une science computationnelle de l'apprentissage ?

Face au défi de comprendre les processus d'apprentissage humain, une approche de recherche interdisciplinaire, dite de sciences computationnelles de l'éducation, vise à combiner d'une part des modélisations développées en neurosciences computationnelles et en intelligence artificielle bio-inspirée et d'autre part la

69. Voir p. ex., sur la soustraction dans la thèse de [Danine2010].

modélisation d'une tâche de résolution de problèmes typique des sciences de l'éducation. Dans le cadre de l'action exploratoire Inria[70] dénommée AIDE (*Artificial Intelligence Devoted to Education*), la modélisation est focalisée sur des tâches de résolution de problèmes [Romero&al-2020].

4.5 L'évaluation de l'impact du numérique

Plus l'intégration du numérique dans les pratiques pédagogiques se développe et se diversifie, plus l'évaluation de cet apport est cruciale pour éclairer les politiques publiques et orienter l'activité des acteurs économiques vers des solutions utiles et robustes. En effet, les investissements effectués dans le numérique suite à des décisions politiques ne sont pas toujours judicieux, et certaines entreprises des EdTechs avancent des arguments sur leur solution non étayés par des évaluations scientifiques.

Face aux nombreuses questions se posant sur la qualité et l'efficacité des solutions numériques des EdTechs, il est indispensable d'impliquer les communautés scientifiques dans l'évaluation des usages du numérique en éducation. Afin de faire la part des choses entre les intuitions des uns et des autres, les considérations économiques, les interconnexions des politiques publiques nationales et territoriales en matière de numérique et pour assurer une certaine indépendance.

Éclairer les politiques publiques et orienter l'activité des acteurs économiques vers des solutions utiles et robustes

L'évaluation de l'impact du numérique dans les processus de formation et d'apprentissage doit prendre en compte plusieurs aspects que l'on peut schématiquement résumer par la formation **au et par le numérique**, mais aussi définir les critères de l'évaluation (améliorer la moyenne de la classe ? permettre aux apprenants les plus performants d'aller plus vite ? ou au contraire lutter contre l'échec scolaire ?) et ceci en questionnant l'accompagnement apporté aux enseignants dans leur appropriation des pratiques numériques.

Ces quelques éléments démontrent la difficulté de l'identification des phénomènes à évaluer, la définition rigoureuse des questions de recherche et des conditions de l'évaluation pour éviter l'écueil de faire des mesures de situation qui seraient produites *ad hoc*, sans être capable de les relier aux causes premières[71]. Enfin, il existe le risque dans le domaine du numérique comme dans d'autres, de créer des

70. Les actions exploratoires Inria visent à susciter l'émergence de nouvelles thématiques de recherche à partir d'idées originales sur des sujets risqués qui permettent de dépasser les limites actuelles des travaux dans différents domaines des sciences du numérique.
71. Pour rappel, corrélation n'est pas causalité.

études qui visent à légitimer des idées préconçues (*biaisées*). Par exemple, suite à la conception d'un jeu numérique en mathématiques, le biais pourrait être de développer une étude visant à comparer les effets de ce jeu par rapport à un autre type de dispositif, pour mettre en avant le premier sans s'assurer que les deux situations sont comparables. Le numérique n'est pas une variable indépendante qui est intégrée à une situation analogique ; il s'agit bien d'une situation spécifique qui doit être prise en compte comme une activité différente tant sur les processus d'enseignement et d'apprentissage que sur la médiation du numérique dans ces différents processus.

Dans l'évaluation des effets positifs ou négatifs de certaines pratiques et usages du numérique en éducation, l'identification des hypothèses, des conditions initiales de l'expérimentation et des biais implicites devrait être une des premières priorités d'une démarche rigoureuse. Par ailleurs, il est important de pouvoir prendre en considération l'évaluation dès la phase de conception des solutions EdTechs afin de pouvoir intégrer des traces et des démarches d'évaluation qui puissent faciliter l'évaluation. L'évaluation d'une solution EdTech en mode « boîte-noire » une fois finalisée, limite l'évaluation qui peut être réalisée. Les solutions EdTech doivent être conçues pour faciliter l'évaluation (collecte de données sur l'usage, sur l'apprenant, etc.) et permettre l'amélioration itérative des solutions.



Atelier de bande dessinée numérique. © Inria / Photo G. Scagnelli.

DE L'USAGE DU CLAVIER

Comme déjà évoqué dans la section précédente, il y a de nombreuses études sur l'usage de claviers en situation d'apprentissage. p. ex., Sirine Bouriga et Thierry Olive ont récemment fait une étude (1) de la charge mentale en comparant l'usage d'un stylo et d'un clavier dans des tâches d'écriture. Ils mesurent sur une « cohorte » de 30 étudiants universitaires que l'usage du clavier est négatif pour cette tâche par rapport à une écriture manuscrite car (i) il crée un surcoût cognitif (mesuré en temps de réaction), (ii) il diminue la mémorisation (mesurée en nombre de mots mémorisés). C'est peut-être vrai, mais pour que cette étude très instrumentée (qui parfois confond clavier et traitement de texte) soit convaincante, il aurait été intéressant de connaître les conditions initiales de l'expérimentation à savoir le niveau de dextérité des 30 étudiants à la dactylographie. En effet, comparer des tâches comme « taper sur un clavier avec 2 doigts » parce qu'on n'a jamais appris la dactylographie et écrire avec un stylo, ce qu'en général on apprend vers l'âge de 6 ans (soit plus de 15 ans de pratique pour un étudiant), introduit un biais puisque les conditions initiales de la maîtrise de l'outil d'interface ne sont pas équivalentes. On peut cependant en tirer deux conclusions : (i) pour celles et ceux qui n'ont jamais appris la dactylographie, n'utilisez pas de clavier ; (ii) il est nécessaire d'apprendre la dactylographie à l'école primaire.

Réf : (1) http://www.reseau-espe.fr/sites/default/files/u265/sirine_bouriga_olive_.pdf ou https://youtu.be/Lvvp9Z8G86c
Voir également https://emf.fr/wp-content/uploads/2019/07/Ordi-Ecriture-Olive-EMF-16oct2019.pdf et https://youtu.be/Lvvp9Z8G86c

S'il n'est pas possible à l'heure actuelle de préconiser un seul type d'évaluation pour l'ensemble des pratiques intégrant le numérique, et si chaque étude doit donc être réalisée de façon spécifique à un besoin particulier, il est cependant nécessaire de s'appuyer sur des méthodologies éprouvées dans d'autres domaines (mise en place et suivi de cohortes, statistiques valides, etc.) comme celles liées à la santé. Une collaboration pluridisciplinaire est bien entendu nécessaire pour prendre en compte les différentes contraintes de l'évaluation des EdTechs.

Néanmoins, on peut souligner quelques initiatives structurantes dont les premières concernent **l'évaluation aux compétences numériques.** Dans ce cadre et afin de soutenir les pays européens dans la conception de politiques, mesures, programmes et autres dispositifs favorisant le développement des compétences numériques, le Centre commun de recherche[72] de la Commission européenne,

72. https://ec.europa.eu/info/departments/joint-research-centre_fr

a conçu le projet *DIGCOMP 2.0*[73]. Celui-ci donne un cadre de référence pour les compétences numériques qui s'adressent à toutes les Européennes et tous les Européens et qui sont définies comme « *l'usage sûr et critique des technologies de la société de l'information (TSI)* ». Le cadre DIGCOMP définit **21 compétences regroupées dans cinq domaines :**

1) Littératie de l'information et des données
2) Communication et collaboration
3) Création de contenu numérique
4) Sécurité
5) Résolution de problèmes.

En s'appuyant sur le cadre *DIGCOMP*, le gouvernement français a lancé le projet *Pix*[74] [Vie&al-2017] permettant à chacun et chacune de pouvoir mesurer ses compétences numériques par le biais d'une plateforme qui vise également à certifier le niveau de compétence.

À la rentrée 2019, *Pix* est généralisé progressivement à tous les collèges (cycle 4[75]) et lycées. Durant l'année scolaire 2020-2021, la certification *PIX* devient obligatoire pour les élèves de 3e et de terminale[76]. L'Éducation nationale propose d'accompagner les enseignants, à travers des pistes de mise en œuvre par niveau de maîtrise, ainsi que des fiches usages et ressources complémentaires qui sont présentées pour chaque compétence attendue sur **seize compétences regroupées dans 5 domaines :**

1) Information et données
2) Communication et collaboration
3) Création de contenus
4) Environnement numérique
5) Protection et sécurité.

On notera également la communication associée pour ses personnels d'encadrement et ses professeurs mais aussi à destination des parents[77].

73. https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework
74. https://pix.fr/
75. Le cycle 4 (cycle des approfondissements) recouvre les classes de 5e, 4e et 3e du collège.
76. https://pix.fr/enseignement-scolaire
77. https://eduscol.education.fr/pid38816/certification-des-competences-numeriques.html

Ces dernières années, *« parmi les outils les plus étudiés, les travaux se sont notamment intéressés aux TNI, tablettes numériques, manuels électroniques, ressources numériques pour les enseignants, sur les ENT ou liées au cartable numérique. D'autres travaux étudient davantage les problématiques plus générales comme les opérations de dotation en ordinateurs portables, l'évaluation des compétences, etc. D'autres encore s'intéressent aux enseignants, à leurs communautés en ligne ou à d'autres corps du système éducatif. Une nette segmentation disciplinaire se maintient ainsi entre philosophie, psychologie, sociologie, économie, informatique, etc. Plusieurs courants ont développé de nombreux travaux : les informaticiens qui conçoivent et testent des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH); les pédagogues et technologues qui voyaient dans la technologie des opportunités nouvelles et un levier pour changer les pratiques enseignantes. Les sciences de l'éducation contribuent à l'analyse des usages sociaux et à la discussion des finalités éthiques ou politiques. D'autres disciplines de recherche ont apporté des contributions significatives : psychologie (sur les effets de la lecture hypertextuelle, les phénomènes de surcharge cognitive, les différentes typologies d'apprentissages, etc.) ; les sciences du langage (sur les pratiques discursives sur les forums ou réseaux sociaux) ; la sociologie et les sciences de l'information et de la communication, en particulier dans l'analyse des usages ; le courant de l'anthropologie et de la sociologie des sciences et des techniques. »*

Extraits de *« Les technologies numériques à l'école, quel bilan ? »*, 2017, Cédric Fluckiger, Université de Lille (CIREL, EA 4354, équipe Théodile).

Parmi les autres initiatives européennes visant **l'évaluation des usages du numérique,** on peut citer la plateforme SELFIE (*Self-reflection on Effective Learning by Fostering Innovation through Educational technologies*)[78] créée en 2018 par la Commission européenne. Elle met à disposition un outil d'autoréflexion sur l'apprentissage, efficace grâce à la promotion de l'utilisation de technologies éducatives innovantes. Cette plateforme est disponible sur le Web en 31 langues et elle aide les écoles à évaluer et à améliorer leur utilisation des technologies numériques dans les apprentissages. Dans une vidéo de présentation disponible sur son site, l'intention est clairement indiquée : *« Les recherches montrent que de nombreuses améliorations peuvent être apportées avec le numérique… Les établissements sont-ils prêts à exploiter au maximum les technologies numériques dans les méthodes d'apprentissages ? »*. Plus de 500 000 élèves, enseignants et chefs d'établissement de 45 pays l'utilisent déjà fin 2019, et la plateforme prévoit

78. https://ec.europa.eu/education/schools-go-digital_fr

la production de documents d'accompagnement et du matériel de formation en 2020. L'application fait partie des onze actions du plan pour l'éducation numérique proposé par l'Europe.

Au cours des dernières décennies, les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) se sont développés dans un contexte de recherche interdisciplinaire en tenant compte de leur impact sur les apprentissages. La communauté EIAH en contexte francophone, et la communauté *Computer-supported collaborative learning* (CSCL) ont pu développer des travaux sur différentes tâches dans le domaine des environnements de support à l'apprentissage des mathématiques, comme le *Virtual Math Teams*[79], qui a fait l'objet de deux décennies de recherches sur les apports des environnements numériques pour l'apprentissage des mathématiques ou encore le *Knowledge Forum*[80], qui donne support aux processus d'apprentissage en contexte collaboratif.

Parmi les **pistes pointées comme utiles à approfondir par la recherche,** citons : l'étude des usages des supports matériels (tableau numérique interactif (TNI), tablettes) et logiciels, déjà en place ou issus des innovations des entreprises EdTechs dans différents contextes scolaires ; l'étude de l'influence des technologies numériques sur les apprentissages et sur les méthodes pédagogiques ; l'étude du positionnement de la France dans le monde sur les questions EdTech ; l'étude de l'impact de l'introduction de la science informatique et de la pensée computationnelle dans les cursus scolaires sur les autres disciplines ; l'étude des entreprises EdTechs émergentes et de leurs innovations, etc.

Inria participe également à ces recherches, à travers différents travaux menés en partenariat avec des structures de l'éducation (académies, DANE, INSPÉ, etc.) (§ Annexes 2 et 3).

L'évaluation des usages des tablettes en contexte scolaire a fait également l'objet de nombreux travaux au cours des dernières années. Leur bilan permet d'observer de nouveaux usages [Azaoui&al-2019] mais ne permet pas d'établir un impact significatif sur les améliorations liées aux apprentissages scolaires.

79. http://gerrystahl.net/vmt/
80. http://edutechwiki.unige.ch/en/Knowledge_Forum

Évaluation nationale institutionnelle

Au niveau national, différentes initiatives ont visé l'évaluation des dispositifs liés aux EdTechs en contexte d'éducation scolaire. Le ministère de l'Éducation nationale s'est doté d'une direction du numérique pour l'éducation (DNE) ayant pour objectif d'accompagner les pratiques liées au numérique éducatif. Parmi les dispositifs pour l'« Évaluation et pilotage du numérique pour l'éducation », la DNE met en place des enquêtes annuelles *ETIC*, *PROFETIC* et *EVALueNT*. Les résultats sont disponibles [81] sur plusieurs années, notamment pour les enquêtes suivantes :

- **L'enquête *PROFETIC*,** lancée en 2011, a pour objectif de connaître les pratiques des enseignants en matière d'utilisation du numérique et de disposer d'informations pour favoriser le dialogue avec les collectivités territoriales.
- **L'étude *EVALuENT*** menée sur la base des ENT du second degré (collège), a pour objectif de décrire le dispositif permettant l'évaluation des usages des ENT sur l'ensemble des 30 académies. *EVALuENT* vise à outiller les différents niveaux de pilotage des projets ENT.

En octobre 2019, le CNESCO (Conseil national de l'évaluation du système scolaire) a été remplacé par une agence d'évaluation des écoles et des établissements qui n'a plus en charge l'évaluation des politiques scolaires. À la différence du CNESCO, des représentants du ministère de l'Éducation nationale y siègent, ce qui rend ce remplacement très polémique, d'aucuns avançant qu'il ne s'agit donc plus d'évaluation véritablement indépendante. Il faudra donc étudier avec attention les évaluations sur le numérique à l'école produites par ce nouvel organisme.

Enfin, les enquêtes disciplinaires auprès des interlocuteurs académiques du numérique (IAN) font un état des lieux du numérique par discipline et par académie. Les résultats sont diffusés au sein du réseau des animateurs disciplinaires nationaux. Parmi ces enquêtes, certains indicateurs servent également aux études internationales, notamment *Eurydice*[82] (en Europe), qui tient compte de certains indicateurs d'intégration du numérique en éducation.

Rapport de la Cour des comptes 2019

La Cour des comptes dresse un bilan sévère du plan numérique de 2015, plan qui devait pourtant marquer un tournant numérique dans l'éducation. Manque de clarté, manque de réel pouvoir sur les crédits par des organismes pourtant créés pour cela (voir section sur la Direction du numérique éducatif), manque de coordination

81. https://eduscol.education.fr/pid26128/evaluation-et-pilotage-du-numerique-pour-l-education.html
82. https://eacea.ec.europa.eu/national-policies/eurydice/

entre les différents acteurs nationaux et territoriaux (certains financent mais d'autres doivent assurer la maintenance sans avoir pris part à la décision initiale), inégalité entre territoires, inégalité entre établissements, équipements décidés sans concertation avec les enseignants, inertie[83], etc. Ces situations sont variées, et même si des réussites existent ici ou là, la politique numérique globale est mal définie, sans consistance et à vrai dire, n'est pas à la hauteur des enjeux.

Il est vrai que la situation est complexe. Les institutions nationales, les collectivités territoriales, les chefs d'établissements, les enseignants, les parents (oubliant parfois leur propre rôle éducatif dans les problématiques numériques liées à leurs enfants), les élèves (et leurs équipements numériques) ont chacun leur propre vision, leurs craintes (usage des écrans, interdiction ou non des téléphones mobiles) et leurs intérêts propres. Construire une méthode pour favoriser le dialogue et faire émerger des problématiques utiles, pour créer un mouvement d'ensemble en vue d'un usage efficace des EdTechs, n'est pas chose facile.

« *Un concept sans stratégie, un déploiement inachevé* », ces quelques mots (en exergue du rapport) résument une situation mal maîtrisée et qui donne en creux des éléments pour une politique plus efficace. Il s'agirait de construire une vision globale du numérique, avec tous les acteurs concernés, puis définir des socles communs minimaux d'équipement, des stratégies de déploiement, des soutiens rapides et adaptés aux projets qui font sens. L'intégration des travaux de recherche en sociologie du numérique dans la réflexion pourrait éclairer les enjeux et ainsi mieux les faire partager, faciliter la définition d'un cap vers lequel avancer, tout en prenant en compte sur le terrain les spécificités des territoires concernés.

Mais tout ceci finalement serait vain sans une évaluation rigoureuse des usages et des résultats, aux différents temps des projets, aux différents niveaux des politiques publiques, et aux différents niveaux des acteurs sur le terrain. Avec une prise en compte de l'évaluation de manière systématique et claire, l'échec dénoncé par la Cour des comptes aurait sans doute pu être évité.

83. p. ex. : délai pour avoir une décision positive ou négative d'obtention d'un budget nécessaire estimé à 18 mois.



Quels enjeux ?

5.1 Enjeux de souveraineté numérique et de la maîtrise des données d'apprentissage

Le concept de souveraineté[84] est largement associé aux principes du pouvoir régalien des États. Mais la numérisation du monde ouvre de nouvelles perspectives souvent traduites par la question de la souveraineté numérique et l'irruption de grands acteurs industriels prétendant de plus en plus assumer des fonctions régaliennes[85].

On peut aborder la question de la souveraineté numérique selon deux facettes. D'une part, la question de la conception des algorithmes et des optimisations/décisions calculées/prises par les logiciels qui les implémentent, et d'autre part la question de la maîtrise des données et plus généralement des contenus.

« [...] un logiciel est une œuvre de l'esprit et son développement n'est pas "neutre" : même avec un cahier des charges très précis, il subsiste le plus souvent des choix d'implémentation que le développeur prend à sa charge. »

Commençons par rappeler qu'un logiciel est une œuvre de l'esprit et que son développement n'est pas « neutre » : même avec un cahier des charges très précis, il subsiste le plus souvent des choix d'implémentation que le développeur prend à sa charge. Il est clair que la personnalité, la culture, voire le genre peuvent influer sur le produit final. On observe le débat actuel sur les algorithmes qui ont pour but de recommander des vidéos ou d'acheter des objets en ligne ; cette influence est actuellement décriée (débat sur la neutralité des algorithmes) mais **la question est encore plus cruciale pour des systèmes touchant à l'éducation, socle commun de la culture d'une nation et de son futur.**

Dans ce contexte particulier, il est nécessaire de s'interroger sur la nature des contenus pédagogiques : quelles approches ? quelles séquences ? Sans porter de jugement, ni établir de classement, les approches pour apprendre à lire, écrire, compter ou raisonner présentent des différences en France, en Amérique ou en Asie. Certes, il est envisageable de développer des solutions pouvant accueillir des contenus différents mais cette intégration n'est pas forcément simple et des « rigidités » logicielles peuvent restreindre la mise en œuvre de certains aspects spécifiques à un système éducatif. Il est donc indispensable de s'assurer que les enseignants ont la possibilité de choisir dans l'offre pléthorique de produits qui leur seront proposés, en utilisant un critère de respect des approches pédagogiques qu'ils ont choisies et pas juste de retenir des produits « s'en approchant ».

84. https://fr.wikipedia.org/wiki/Souverainet%C3%A9
85. À titre d'exemple, on peut citer l'émergence de monnaies ou d'actes notariés basés sur la *blockchain* ou encore des capacités de chiffrement proposées par des sociétés spécialisées.

L'autre point primordial à traiter concerne **la maîtrise des données d'apprentissage** récoltées par ces logiciels éducatifs. Ces données et leur exploitation statistique (*academic analytics*) peuvent permettre au système éducatif et notamment l'Éducation nationale, s'ils s'en emparent, de faire un meilleur pilotage à travers la remontée d'informations statistiques de type *tableau de bord*. On notera également que l'accès à ces données pourrait être une chance pour la recherche en sciences de l'éducation[86]. La question de souveraineté est alors de savoir qui en a la maîtrise. Il s'agit en effet d'une véritable « mine d'or » qui génère(ra), si l'exploitation est laissée au seul secteur marchand, beaucoup plus de bénéfices que la vente du produit de type manuel scolaire[87]. Ce modèle économique bien connu maintenant dans d'autres secteurs, vise à agréger ces informations, éventuellement les croiser avec d'autres sources pour créer des « profils » d'utilisateurs très précis qui sont ensuite monétisés, soit directement par l'entreprise récoltante, soit indirectement en les revendant à d'autres sociétés. Cette approche a d'abord été observée dans des navigateurs Web où les comportements d'un utilisateur sont analysés pour ensuite lui proposer des achats ciblés sur ses goûts.

Dans le cas de la formation, la monétisation portera sur les capacités d'apprentissage d'un apprenant (lycéen, étudiant, adulte) qui seront ensuite vendues à des entreprises de « placement » avec un objectif de rentabilité à court terme sans forcément prendre en compte l'intérêt à long terme de l'apprenant.

Un autre aspect de cette nécessaire maîtrise des données réside dans le respect de **leur confidentialité**. Acceptons-nous que les informations concernant nos enfants (ou nous-mêmes) soient revendues à des sociétés marchandes pour ensuite leur faire acheter des produits ou des services ? Il y a là une question éthique de fond qui doit être débattue publiquement et pas oubliée implicitement par des « décideurs » qui choisissent un produit sans vraiment se préoccuper de ces interrogations. La transparence sur ce sujet est absolument indispensable pour établir une véritable confiance dans notre école.

86. Voir p. ex., le projet *Hubble* [Luengo&al-2019].
87. On notera que le CEO de *Google* annonce plus de 100 millions d'apprenants/professeurs sur *Google Classroom* pendant la phase de confinement : https://twitter.com/sundarpichai/status/1248323655659950080

LE CAS DES NOTEBOOKS POUR LE DÉVELOPPEMENT LOGICIEL

Depuis quelques années, on assiste au développement d'outils numériques autorisant un travail collaboratif basé sur le partage d'informations de différents types : texte, multimédia mais aussi du code qu'il est possible d'exécuter directement dans l'environnement. Citons p.ex. le projet *Jupyter Notebbook* lancé en 2015 par Fernando Pérez et récompensé du *ACM Software System Award* en 2017, notamment les *Notebooks* associés au MOOC Inria consacré à l'apprentissage du langage *Python* qui propose des exercices aux apprenants. Ces outils rencontrent un succès grandissant tant dans le monde de l'entreprise que dans celui de l'éducation et de plus en plus d'étudiants les utilisent.
Il est donc facile de prévoir que dans quelques années, ces outils, inconnus il y a peu, seront au cœur du développement des systèmes numériques. Que se passera-t-il si, au lieu d'utiliser des solutions assurant la protection des données dans le respect de notre législation nationale et européenne, ces ingénieurs et concepteurs travaillent avec des plates-formes de ce type mais développées par les leaders dominants qu'ils soient américains ou chinois ? Concrètement, elles auront un accès direct à la conception des produits et innovations des entreprises européennes. Est-ce acceptable ?

Enfin, mais ce n'est pas le moins important, **l'ouverture des systèmes** choisis doit être assurée. En effet, il s'agit de s'assurer que l'utilisation d'un logiciel n'entraîne pas de limitation dans les autres choix, à cause de solutions technologiques bloquantes. On pense d'abord à la question du format des documents : certains produits imposent des choix dits propriétaires qui ne permettent pas leur (ré)utilisation dans d'autres systèmes. Ensuite, les interactions entre logiciels ou entre systèmes sont devenues monnaie courante dans beaucoup de contextes – on parle alors d'**interopérabilité** – il faut bien entendu veiller à ce que les systèmes retenus les autorisent. Enfin, et de manière plus fondamentale, il s'agit de garantir **la portabilité des données** et la réappropriation par les apprenants de leurs propres données d'apprentissage[88]. Le règlement général pour la protection des données (RGPD) édicté par l'Europe est un socle de solutions mais qui est loin d'être suffisant car la compréhension de comment le mettre en oeuvre doit être au coeur de la conception des systèmes d'information des établissements de formation (éducation nationale, enseignement supérieur, etc.), ce qui ne peut être guidé que par des principes généraux de gouvernance (voir p. ex., https://www.anewgovernance.org/). Il s'agit donc, au sein du cadre juridique

88. On peut constater qu'actuellement, un élève qui change d'académie en cours de scolarité perd toutes ses données de résultats scolaires à moins qu'il en ait gardé une trace papier !

du RGPD, de construire un modèle qui permet la circulation et la réutilisation de ces données, au profit de l'élève, du corps enseignant et plus généralement de l'école et du ministère, des parents, des chercheurs et des entreprises des EdTechs dans un modèle qui doit être vertueux, permettant à chaque acteur par sa contribution d'en tirer de la valeur. Un exemple intéressant est promu par l'ONG *MyData*, avec son modèle de contrôleur de données (https://mydata.org/operators/).

Un rapport des inspections générales IGEN et IGAENR[89] publié en février 2018 indique qu'*« il est essentiel de réaliser que la souveraineté en matière de numérique ne repose pas uniquement sur le contrôle mais bien sur un enjeu de transparence et de partage »*. Et de préconiser (préconisation n°17) *« d'intégrer l'Éducation nationale dans le domaine des secteurs d'activités industriels stratégiques soumis à une autorisation préalable du gouvernement français en cas d'investissements étrangers »* .

L'État semble avoir pris la mesure du risque sur la protection des données d'éducation puisqu'à l'issue de ce rapport, le ministre Jean-Michel Blanquer a nommé en août 2018 Gilles Braun, un des coauteurs du rapport, comme délégué à la protection des données (DPD) au ministère de l'Éducation nationale, chargé de coordonner les travaux des DPD académiques et il a annoncé la création d'un comité d'éthique sur les données d'éducation à la rentrée scolaire 2020[90].

Si nous voulons répondre de façon pertinente à ces questions cruciales pour notre société, plusieurs axes s'imposent. Tout d'abord, appuyer de façon déterminée le développement d'une industrie française et européenne capable d'exister à côté des mastodontes aujourd'hui nord-américains et chinois[91]. Nous croyons que notre pays peut relever ce défi pour plusieurs raisons, d'abord parce que le développement de logiciels éducatifs repose sur la créativité et la prise en compte d'un modèle culturel et que nous sommes donc bien placés (on peut faire l'analogie avec le jeu vidéo « à la française »). Ensuite parce que nous disposons de compétences reconnues dans les sciences de l'éducation d'une part et dans les sciences du numérique d'autre part. Enfin, parce que les enseignants sont généralement engagés pour la réussite de leurs élèves et sauront se mobiliser pour aider, en amont à la conception de bons systèmes, et en aval à leur validation sur le terrain. Quand, dans le passé, ces différents acteurs sont arrivés à travailler de concert, la réussite était au rendez-vous (§ *Class'Code* Annexe 3), gageons qu'elle le sera encore dans le futur !

89. https://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/184000536.pdf
90. https://www.youtube.com/watch?v=ifFtCXVdMPk
91. L'intérêt des GAFAM pour l'éducation est bien connu mais on peut aussi regarder l'extraordinaire développement d'entreprises chinoises spécialisées comme *Squirrel AI Learning*.

5.2 Enjeux économiques

Gilles Braun [Braun-2006] analysait en 2006 dans un très bon article de synthèse sur les enjeux économiques des EdTechs que *« nous sommes donc dans un des rares domaines où se rejoignent enjeux éducatifs, économiques et industriels. L'école est non seulement un marché potentiel mais aussi le creuset où les pratiques culturelles se construisent. Les débats sur l'exception"pédagogique" dans la diffusion des contenus numérisés ou la place que doivent occuper les logiciels libres y sont particulièrement animés. Ils sont l'expression de la recherche d'un modèle économique qui soit compatible avec la volonté d'une diffusion la plus large du savoir et le droit des auteurs à protéger leur œuvre. Dans le débat sur la marchandisation et la mondialisation de l'éducation, les technologies de l'information et de la communication tiennent donc une place stratégique. »*

Depuis 2006, le marché de l'éducation a effectivement explosé et on peut citer le récent *rapport McKinsey*[92] : *« Pendant des décennies, les gens ont discuté de la façon de révolutionner l'éducation avec la technologie, que ce soit des matériels pédagogiques de "gamification" ou de l'élargissement de l'accès aux connaissances par le biais de cours en ligne ouverts et massifs (MOOC). Les sociétés d'investissement d'*EdTechXGlobal *et d'Ibis ont estimé que les écoles ont consacré près de 160 milliards de dollars aux technologies du numérique pour l'éducation, ou EdTechs, en 2016, et que les dépenses prévues augmenteront de 17 % par an jusqu'en 2020*[93]*. L'investissement privé dans les technologies éducatives, largement défini comme l'utilisation d'ordinateurs ou d'autres technologies pour améliorer l'enseignement, a augmenté de 32 % par an de 2011 à 2015, atteignant 4,5 milliards de dollars dans le monde ».* Une étude récente du cabinet *CB Insights*, indique que le cumul des levées de fonds dans les EdTechs dans le monde a franchi la barre des 10 milliards de dollars en 2017 et que le marché explose en Chine avec l'arrivée de nombreuses licornes et une estimation à 30 milliards de dollars de fonds pour la EdTech chinoise d'ici 2020[94]. En comparaison, il y a eu en 2018 en France, 220 M€ de levée de fonds ce qui correspond approximativement à la troisième levée de fonds (en 2018) de la start-up chinoise *DaDa* (255M$).

Par ailleurs, la France consacre plus de 150 milliards d'euros par an à son système éducatif (source MENJ[95]) sans compter le marché français de la formation

92. *« Artificial Intelligence : The Next Digital Frontier », Mckinsey Global Institute*, Juin 2017.
93. *Rapport mondial de l'industrie mondiale d'EdTech 2016 : une carte pour l'avenir de l'éducation, EdTechXGlobal* et *Ibis Capital.*
94. https://www.frenchweb.fr/decode-le-chinois-dada-une-licorne-de-lEdTech-a-la-conquete-du-monde/344388
95. https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/document/depp-ni-2019-19-38-donnees_1190476.xls

professionnelle qui représentait environ 24 milliards d'euros par an en 2015[96]. Malgré de nombreux efforts, ce système reste mal classé dans les études internationales comme nous l'avons mentionné au chapitre 3.2. Cette année, 80 000 élèves décrocheurs quitteront le système scolaire sans véritable formation leur permettant d'entrer sereinement dans le monde du travail et la vie d'adulte, et beaucoup plus encore se retrouveront dans des situations d'échec scolaire ou en grande difficulté.

Le décrochage coûte également cher à la collectivité. Selon la Cour des comptes, il mobilise à lui seul 35% des financements publics en faveur des jeunes de 16 à 25 ans. Selon le *Boston Consulting Group*, chacun de ces individus « surcoûtera » en moyenne durant sa vie d'adulte un total de 230 000 euros (précarité et chômage pour un grand nombre, RSA pour certains et une probabilité plus forte d'avoir affaire au système judiciaire pour d'autres, etc.) **Ce surcoût lié à l'échec scolaire représenterait donc une dette de près de 20 milliards d'euros par an !**

Les principales causes de l'échec scolaire sont connues :

- **45 % des élèves ont du mal à suivre le rythme de la classe ;**
- **26 % des élèves ne maîtrisent pas certaines notions fondamentales** ce qui bloque l'acquisition de connaissances nouvelles.

Or la diversité des supports d'apprentissages mixant l'image, le son, la vidéo et l'animation renforce l'ancrage des apprentissages, facilite la mémorisation et l'acquisition de connaissances et de compétences. À cela s'ajoute la démultiplication de l'efficacité de l'enseignant grâce aux outils de suivi fin des élèves et de personnalisation des apprentissages.

L'AFINEF[97] exhorte les décideurs à mettre en place des moyens significatifs pour développer des ressources et des solutions numériques éducatives de nouvelle génération. En effet, elle estime que la France ne consacre chaque année que de 10 à 15 millions d'euros aux ressources numériques éducatives pour ses 12 millions d'élèves (à comparer aux 300 millions d'euros de l'édition scolaire et aux 40 millions d'euros de la photocopie scolaire)[98]. Force est de constater que l'acte d'achat de ressources numériques reste très peu répandu et limité dans la plupart des cas à des procédures d'achats groupés et de marchés publics. En conséquence, il est difficile de parler de marché des ressources numériques, et par voie de conséquence, de financement des investissements des entreprises des EdTechs, donc d'envisager leurs perspectives de développement économique en France. Pour mémoire, les plus grandes entreprises EdTech françaises réalisent un chiffre d'affaires annuel très rarement supérieur à la dizaine de millions d'euros.

96. https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/jaune2018_formation_professionnelle.pdf
97. https://www.afinef.net/
98. Lettre ouverte de l'*AFINEF* au gouvernement (novembre 2017).

Comme nous l'avons déjà mentionné dans l'introduction, la France possède aussi un tissu associatif autour des EdTechs qui se structure et dispose de nombreuses entreprises et startups innovantes, dynamiques et performantes. Ces sociétés ont un fort potentiel à l'international[99]. Mais les conditions d'achat public de contenus éducatifs (c.-à-d. de logiciel ou de données) sont très compliquées dans le cadre de l'éducation nationale ou de l'enseignement supérieur. Ce qui est moins vrai pour le matériel et qui a comme conséquence l'achat massif de tablettes qui *in fine* sont très peu utilisées (voir le rapport de la Cour des comptes).

Il y a donc deux enjeux. Le premier est lié à la simplification de rémunération de l'utilisation effective de logiciels éducatifs par les enseignants, voire coconstruits avec les enseignants selon un mécanisme simple et efficace, certainement à bâtir autour de solutions associant plateforme d'offre et de jetons d'usage. Le second enjeu déjà évoqué à la section 5.1 porte sur les données. Il faut « inventer » un modèle vertueux qui arrive à ce que la création de valeur liée aux données d'éducation soit un moyen d'assurer le développement économique de la portabilité des données, dans le respect de la confidentialité et du RGPD. Enfin, l'exploitation des données d'éducation à l'échelle de la Nation doit être l'occasion de créer des biens communs[100]. Cela implique de comprendre comment concrètement les financer, probablement par de l'argent public ou des fondations[101] pour que la situation soit tenable financièrement pour les personnes investissant du temps de travail, en les adossant à des biens marchands[102] ou à des services rémunérés. On peut aussi penser à du *crowd-sourcing*.[103] Il faut être conscient que cela impose principalement d'une part que les personnes créant ou finançant de telles ressources renoncent à l'idée de percevoir une « rente » sur le bien produit quand c'est un bien non rival[104], et d'autre part qu'il y ait un vrai mécanisme d'évaluation de cette production au fil de sa création[105]. Dans le monde des ressources éducatives numériques, l'enjeu majeur

99. On peut citer la levée de fonds (50 millions d'euros) en 2018 d'*OpenClassrooms* mais qu'il faut relativiser, *Coursera* ayant levé l'équivalent en 2012 et *Yuanfudao*, entreprise chinoise créée en mars 2012 ayant levé, en mars 2020, 1 milliard de dollars.

100. ... Au sens précis de *biens numériques partagés sous licence Creative Commons* pour créer une richesse librement réutilisable partageable https://fr.wikipedia.org/wiki/Communs#Communs_de_la_connaissance, contrairement à d'autres acceptionsdu terme, comme discuté ici https://scinfolex.com/2020/04/12/leurs-communs-numeriques-ne-sont-toujours-pas-les-notres

101. Dans le domaine logiciel, la fondation *Mozilla* – p. ex., – est un exemple de succès mondial de création de biens communs.

102. p. ex. : un bien numérique librement réutilisable et qui correspond à un manuel papier qui s'achète à un prix inférieur au coût d'impression sur imprimante, comme ce fut le cas avec le manuel ISN de Dowek&al chez *Eyrolles*, qui par le truchement de ce modèle économique a complètement dominé le marché, les enseignants disposant de la meilleure configuration pour préparer leurs cours : https://wiki.inria.fr/wikis/sciencinfolycee/images/a/a7/Informatique_et_Sciences_du_Num%C3%A9rique_-_Sp%C3%A9cialit%C3%A9_ISN_en_Terminale_S._version_Python.pdf

103. C'est-à-dire une source de contributions mineures d'une foule de personnes, l'exemple planétaire d'un tel succès est évidemment *Wikipédia*.

104. https://fr.wikipedia.org/wiki/Rivalit%C3%A9_(%C3%A9conomie)#Application_aux_biens_immat%C3%A9riels

105. p. ex., la relecture par les coauteurs ou coauteures dans Wikipédia.

est de comprendre comment les mécanismes de création de manuels scolaires se transposent, probablement de manière qualitativement différente[106] à la création de ressources numériques.

« Dans le monde des ressources éducatives numériques, l'enjeu majeur est de comprendre comment les mécanismes de création de manuels scolaires se transposent, probablement de manière qualitativement différente à la création de ressources numériques. »

Les solutions ne sont pas forcément faciles à mettre en œuvre car elles doivent répondre à des enjeux systémiques très imbriqués avec de fortes tensions sur l'accompagnement au changement et la demande des parents (surtout pour l'Éducation nationale). Cependant, les investissements sur un numérique « souverain » comme support au développement d'une offre éducative doivent être mis en regard de la question macroéconomique sur le coût complet de formation ou d'absence de formation (coût de l'échec scolaire évoqué ci-dessus) pour la société, mais il faut aussi aborder la question de l'efficience des solutions en regard du budget que la France consacre chaque année à son dispositif éducatif qui, malgré les nombreux efforts accomplis, reste mal classé dans les études internationales (§ section 3.2).

106. Voir p. ex., une étude sur ce sujet https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01346646/document

5.3 Enjeux de la formation au numérique tout au long de la vie

L'ENGAGEMENT CONSTANT D'INRIA

Dès le début des années 2000, Inria s'investit dans la médiation scientifique pour aider au dialogue science-société en mettant en partage des ressources grand public de culture scientifique et technique en informatique et en sciences du numérique, développant avec ses partenaires des contenus accessibles à tous et toutes sur ces sujets. La revue scientifique en ligne https://interstices.fr illustre dès 2004 le succès à grand échelle de ce travail de reformulation de la matière scientifique, tandis que les activités de médiation scientifique deviennent une facette à part entière des métiers de la recherche reconnue au niveau de l'évaluation individuelle et collective des chercheurs. Ce travail partenarial avec les autres structures de culture scientifique et technique positionne Inria à la fois comme un acteur de terrain directement au contact du public comme dans le cadre du projet « *1 scientifique-1 Classe : Chiche !* » et comme un opérateur de formation et un fournisseur de ressources de qualité pour les autres acteurs et actrices, comme à travers la plateforme https://pixees.fr, contribuant ainsi à grande échelle à l'éducation populaire et citoyenne sur ces sujets.

À la fin des années 2000, Inria prend conscience de l'importance de l'impact des plates-formes numériques sur la conception et la diffusion, les formations en ligne massives et ouvertes pour tous et toutes (MOOC) et développe une infrastructure logicielle française à partir de la souche *open source Open edX* qui deviendra ensuite la plateforme *FUN (France Université Numérique)* qui ouvre officiellement en 2013.

En parallèle Inria crée une structure interne, le *MOOC Lab*, qui deviendra le Learning Lab pour diffuser des contenus sur les recherches conduites à l'institut mais également pour participer à des formations sur les enjeux du numérique (comme *Class'Code IAI* voir l'annexe *« Exemples d'initiatives pour la formation au numérique »).* En 2020, Inria lance *Inria Academy* pour former les personnes aux logiciels libres développés dans les équipes de recherche de l'institut et à forte diffusion comme *Scikit-learn* p. ex.).

Dans le rapport *« Pour une société apprenante : Propositions pour une stratégie nationale de l'enseignement supérieur »* [Béjean-2015], les auteurs préconisent *« l'ouverture du chantier transversal de la formation tout au long de la vie : substituer un véritable continuum à la coupure actuelle entre formation initiale et formation continue, qui ne correspond plus aux besoins des jeunes, des travailleurs et des entreprises, revoir la répartition des fonds de la formation professionnelle en fléchant un pourcentage de la taxe d'apprentissage vers l'enseignement supérieur, avec pour cible qu'un étudiant sur cinq soit accueilli en formation continue ou professionnelle »*. Et ce rapport met en avant les enjeux de la formation tout au long de la vie : *« Au nombre de ces derniers figure le poids excessif de la formation initiale, alors que les évolutions technologiques et sociétales rapides aussi bien que les rythmes de progression diversifiés des individus appellent la mise en place d'un véritable dispositif de formation tout au long de la vie. »*

Ces préconisations sont complétées dans le rapport *« vers une société apprenante »* [Taddei&al-2017], et son plan d'action [Taddei&al-2018] **en mettant en exergue l'importance des compétences génériques ou transversales qui permettent de s'adapter :** *« Alors que les emplois les plus recherchés aujourd'hui n'existaient pas il y a quelques années et que l'on prévoit d'importantes mutations du travail, il apparaît à tous urgent de réfléchir aux conditions et aux compétences transversales qui vont permettre aux organisations et aux individus de se préparer à ces changements, que ce soit via la formation initiale ou durant leur parcours professionnel »*. L'enjeu majeur est alors de donner à chaque apprenant et apprenante les compétences génériques et transversales **pour apprendre à apprendre.**



Inria à la rencontre du public lors de journées du patrimoine. © *Inria / Photo J-M. Ramès - Studio 9.*

Ainsi que nous l'avons explicité dans le chapitre 2.6, nous affirmons que la formation au numérique fait partie des compétences « génériques et transversales » dans un monde qui est devenu numérique, car la formation au numérique est un enjeu majeur pour le développement de la citoyenneté et l'employabilité tout au long de la vie. Nous avons déjà évoqué le rapport du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne, « *Digital competence for lifelong learning* » qui souligne l'importance des compétences numériques dans le développement des capacités des individus d'apprendre au long de la vie.

Nous pouvons nous réjouir qu'en France, l'Éducation nationale ait enfin pris la mesure des enjeux en créant depuis la rentrée 2019 des formations générales dès la seconde (SNT) puis de spécialité en première et en terminale (NSI) dans les lycées d'enseignement général et technologique. C'est une première étape mais qui ne va pas assez loin puisque les lycées professionnels en sont exclus et, comme le souligne la déclaration des académies des sciences du G7 en 2018, l'alphabétisation numérique doit concerner toutes les tranches d'âges[107].

DÉCLARATION DES ACADÉMIES DES SCIENCES DU G7

« L'alphabétisation numérique sur la base d'un programme éducatif pour toutes les tranches d'âges afin de fournir les compétences et les outils qui permettront aux citoyens de soumettre à un regard critique, de vérifier et de valider la qualité des informations circulant sur la toile numérique ».

De nombreuses initiatives d'entraides se sont développées au niveau national et international visant tant les différents groupes d'âges de manière spécifique que le développement d'activités intergénérationnelles. Dans le cadre des projets intergénérationnels, des participants plus jeunes collaborent avec des usagers plus âgés dans l'appropriation des technologies. Dans l'étude de [Segui&al-2019], les utilisateurs travaillent ensemble en mode intergénérationnel pour s'approprier des tablettes et des smartphones donnant lieu à des liens entre générations qui au-delà des compétences numériques permettent le développement du lien social.

L'objectif n'est pas de faire de chacun un spécialiste de l'informatique, mais de donner les bases pour une « **alphabétisation numérique** »[108] de masse car chaque

107. https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/G7_Digital_FR.pdf

108. Qui est différent de l'illettrisme numérique ; nous pouvons ici rappeler le terme « illectronisme » utilisé par Lionel Jospin le 26 août 1999 dans son discours à Hourtin : *« L'essor des technologies de l'information ne doit pas creuser un « fossé numérique ». L'Internet ne doit pas nourrir de nouvelles inégalités dans l'accès au savoir. [...] À travers l'École, en particulier, l'État peut prévenir «l'illectronisme », avant qu'il ne devienne un nouvel avatar de l'illettrisme.»*, extrait de http://www.slate.fr/story/71745/illectronisme-illettrisme-grande-cause-nationale

citoyen, chaque salarié, chaque artisan, chaque agriculteur, etc. doit posséder la maîtrise minimale de compétences numériques pour une capacité d'usage, de liberté de choix, d'insertion, afin d'éviter d'être aliéné par « *la machine* » (cf. [Simondon-1958] dont nous avons évoqué les travaux en introduction du chapitre 2). C'est donc à une mobilisation générale qu'il faut faire appel car in fine, le plus important est la question de la fracture numérique (qui va souvent de pair avec la fracture sociale (§3.2)) et la construction des citoyens dans une société devenue « numérique ».

Avec la réforme de la formation professionnelle et la création du compte personnel de formation (CPF) issu de la loi n°2018-771 dite « Avenir professionnel » du 5 septembre 2018 qui modifie en profondeur la gouvernance et le financement du système de formation professionnelle[109], se mettent en place des mécanismes simples pour que chacun puisse développer ces nouvelles compétences au numérique et accéder à des formations y compris certifiantes. Mais la volonté de chacun de se former dans un processus d'apprentissage tout au long de la vie ne suffira pas, car cette volonté doit être accompagnée par la compréhension du besoin et la construction de parcours, ce qui implique de faire des choix en suivant les recommandations dans la « jungle » de toutes les formations disponibles (depuis des MOOC certifiants jusqu'aux formations universitaires plus ou moins spécialisées en passant par les organismes de formation d'adultes spécialisés). Or les personnels ayant les compétences pour aider à faire ces choix et construire les parcours ne sont certainement pas en nombre suffisant pour les millions d'apprenants à former. On est donc dans un cercle vicieux puisque pour pouvoir former il faut au préalable être formé. Le numérique pourrait alors être un outil permettant, par l'analyse des données de parcours, croisée avec l'analyse du bilan de compétences et la modélisation du profil de l'apprenant, de déterminer comment optimiser et personnaliser le parcours de formation de l'apprenant. Ainsi outillés, apparaîtraient des conseillers de formation et d'orientation d'un genre nouveau au sein de nombreuses organisations (depuis l'Éducation nationale jusqu'aux DRH des entreprises en passant par Pôle emploi), et le compte personnel de formation (CPF) pourrait se voir enrichir d'un tel dispositif de service public.

109. Depuis le 1er janvier 2019, une grande partie de ces changements sont opérationnels : https://www.centre-inffo.fr/site-droit-formation/actualites-droit/textes-d-application-de-la-loi-avenir-professionnel#cec

QUELQUES CHIFFRES-CLÉS DE 2018

Suite à la mise en place du CPF, la direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques (DARES) a montré que parmi les salariés du privé qui ont eu recours à leur CPF, seuls 10 % l'ont utilisé pour suivre une formation labellisée « informatique, traitement de l'information, réseaux de transmission ». Parmi eux, 66 % l'ont fait pour une formation préparant à la certification TOSA® qui, sur certains sites web, est décrite comme un « certificat pour évaluer les compétences informatiques des étudiants ». Or la certification TOSA® de l'entreprise Isograd est une certification initialement construite pour valider des formations à des produits comme à la suite Office de l'entreprise Microsoft ou ceux de l'entreprise Adobe. Ces certifications sont comparées à des TOEIC et on voit ici la confusion entre la formation à l'informatique (c.-à.-d. à la pensée informatique) et les formations aux outils numériques telles que peuvent l'être les formations à des produits d'usage (commerciaux ou pas), indépendamment de la performance ou de la qualité intrinsèques de ces produits.

En l'occurrence, des acteurs du numérique tant de la recherche publique que du monde de l'entreprise pourraient être mis à contribution pour développer les référentiels de compétences en informatique, mais également pour répondre aux enjeux de l'orientation académique ou professionnelle (analyse de millions de parcours de formation initiale ou continue) car une reconversion ne se fonde pas uniquement sur les savoirs acquis mais concerne l'ensemble des dimensions de l'apprentissage (§ section 2.2). L'analyse statistique et l'IA peuvent être des outils efficaces pour proposer et qualifier des scénarios (optimisation entre ce que l'on veut et ce que l'on peut et sur quels types d'actions porter ses efforts d'apprentissage) ; on peut reformuler le problème comme la détermination d'un chemin dans un espace à au moins quatre dimensions (c.-à.-d. les quatre apprentissages) sans compter les autres dimensions liées au contexte personnel (géographique, familial, aptitude à la mobilité, etc.).

6

Quelques recommandations

Les interactions entre éducation et numérique sont très riches et, comme nous le rappelons au tout début de ce document, sont aussi en perpétuelle évolution ; il n'est donc pas possible de clore les réflexions sur ces sujets mais il faut au contraire les alimenter de façon continue.

Ce rapport entend y apporter sa contribution en décrivant des défis, des thématiques de recherche, des enjeux, mais aussi de façon active, des recommandations regroupées en trois grandes thématiques : **recherche, formation au numérique et action publique.**

Si certaines de ces recommandations ont une portée générale, d'autres visent plus particulièrement des acteurs de l'éducation : enseignants, décideurs, médias, entreprises EdTechs, familles, etc.

6.1 Actions de recherche

Face aux enjeux et défis éducatifs actuels, la recherche en sciences du numérique, aux côtés des autres sciences, peut contribuer à comprendre et développer des travaux sur des thématiques de recherche présentées dans les recommandations suivantes.

Recommandation n° 1 : Développer des projets de recherche des sciences du numérique au service de la réussite scolaire

Il existe de nombreux sujets autour de la réussite scolaire pour lesquels des recherches en sciences du numérique peuvent produire des bénéfices notamment en engageant les élèves sur l'activité pédagogique via des approches utilisant l'informatique.

La première question est de s'interroger sur la façon de favoriser la réussite scolaire. Il convient d'y répondre en élaborant des programmes de recherche conjoints avec les sciences cognitives, les sciences de l'éducation et les sciences du numérique fondées notamment sur l'IA, le traitement automatique des langues, la robotique, la réalité virtuelle/augmentée, en vue d'élaborer des environnements d'apprentissage adaptés aux caractéristiques individuelles et de façon encore plus nette pour les personnes ayant des besoins d'adaptation scolaire en particulier en situation de handicap.

Il est également nécessaire de s'interroger sur la façon de mesurer précisément les effets induits. Parmi les voies à suivre, on peut mentionner le développement

d'études expérimentales rigoureuses menées avec des enseignants mais aussi avec des systèmes de mesure de l'attention et plus généralement d'états cognitifs/conatifs[110] (motivationnels) à partir d'analyses de traces (learning analytics) mais également avec des interfaces cerveau-ordinateur (BCI[111]) ou encore avec d'autres signaux physiologiques que ceux liés à l'activité cérébrale. On peut mentionner l'utilisation de mesures biométriques comme la pupillométrie ou encore les électroencéphalogrammes (EEG) qui sont utilisés dans l'analyse de l'activité de l'apprenant au cours de l'utilisation d'environnements numériques d'apprentissage comme NetMaths [Ghali&al-2018].

Parmi ces sujets de recherche, il nous apparaît pertinent d'étudier, du point de vue des sciences du numérique, **la question de l'amotivation** [Sander-2018], qui est l'une des causes de l'échec scolaire. Une telle initiative permettrait de construire un programme de recherche abordant les volets suivants :

- **de quoi s'agit-il ?** quels facteurs psychologiques sont impliqués ? en se rapprochant notamment de spécialistes en sciences cognitives et de psychologues qui travaillent sur ce sujet depuis des décennies ;
- **de quoi résulte-t-elle ?** identification des facteurs de l'individu et des facteurs contextuels des « conditions extérieures » (milieu social, conditions familiales, etc.)

Inria souhaite améliorer la structuration et la visibilité de ses recherches forcément pluridisciplinaires[112] sur ce sujet, notamment en développant **des partenariats avec des acteurs académiques et économiques à travers des équipes-projets communes.** Dans le cadre du contrat pluriannuel (COP) actuel qui lie l'institut avec ses ministères de tutelle, le secteur des EdTechs est clairement identifié et doit faire l'objet d'un projet de recherche ambitieux visant à relever un défi scientifique majeur. La création d'équipes de recherche communes[113] entre sciences du numérique et sciences de l'éducation et de la formation (SEF), sciences cognitives et en psychologie de l'éducation, en y associant dès le départ des entreprises, peut permettre le développement de ce type de recherche et garantir son impact.

110. https://fr.wikipedia.org/wiki/Conation
111. Brain Computer Interface (en anglais) ou interface cerveau-ordinateur (en français).
112. Comme p. ex., https://www.inria.fr/fr/aide-nouvelle-action-exploratoire-chez-inria
113. L'action exploratoire Inria https://www.inria.fr/fr/aide-nouvelle-action-exploratoire-chez-inria est un exemple d'une telle amorce.

Recommandation n° 2 : Développer des méthodologies rigoureuses pour l'évaluation du numérique éducatif

Par le passé, certaines intégrations du numérique ont été réalisées sans évaluation de leurs impacts sur les apprentissages ou bien dans le cadre d'expérimentations à portée trop limitée. Il est par conséquent nécessaire de développer des recherches pluridisciplinaires aboutissant à des études rigoureuses produisant des résultats solides sur les effets du numérique éducatif. Une autre limite de certaines recherches sur les effets du numérique éducatif est leur évaluation *a posteriori*, en tentant de comparer des situations avec et sans usage de la technologie.

Le développement du numérique éducatif a été basé sur des évolutions technologiques parfois réalisées grâce à une collaboration entre des acteurs du numérique et des acteurs éducatifs.

Les équipes de développement de solutions d'envergure telles que *Sesamath*[114], *ViaScola*[115], *Léa*[116] (liste non exhaustive) fonctionnent le plus souvent avec des enseignants chevronnés et entretiennent parfois des collaborations de recherche tant dans la phase de conception que dans l'évaluation des résultats. Comme exemple caractéristique, citons *NetMaths*[117], plateforme interactive québécoise d'apprentissage des mathématiques particulièrement réussie tant du point de vue des contenus que de celui des collaborations avec la recherche.

Cependant, cette démarche de conception collaborative n'est pas toujours adoptée dès l'analyse des besoins et durant l'élaboration de la solution. Cela empêche p. ex., les solutions développées de proposer des indicateurs et des traces d'apprentissage (*logs*) selon un modèle de traces adapté à l'évaluation.

Pour dépasser les limites actuelles, nous recommandons l'intégration d'une démarche d'évaluation dès la phase de conception. Ces évaluations doivent pouvoir décrire de manière claire et détaillée les usages et la situation d'apprentissage au cours de laquelle s'est développée l'évaluation.

Dans la prise de décision en lien avec le numérique éducatif, il est important de pouvoir apporter des indicateurs en lien avec les résultats de recherche. Comme dans le cas du *Nutriscore*, le développement d'indicateurs compréhensibles faciliterait la prise de décision sur les outils EdTechs et leurs contextes d'utilisation.

114. https://www.sesamath.net/
115. https://www.viascola.fr/
116. https://lea.fr/
117. https://www.netmath.ca/fr-qc/

6.2 Formation au numérique

Les besoins sont immenses et concernent toute la population. Il ne s'agit pas de former des spécialistes mais de réaliser une alphabétisation au numérique en contribuant au développement des compétences transversales comme la pensée informatique ou les compétences numériques développées dans le cadre de référentiels, tels que PIX, auprès du plus grand nombre. Inria pour sa part s'est engagé à travers le projet *Class'Code* (voir ci-dessous) et récemment à travers l'initiative « *1 scientifique - 1 Classe : Chiche !* » [118]qui a pour ambition que toutes les lycéennes et tous les lycéens des classes de seconde de France rencontrent pendant une heure un ou une scientifique du numérique. Mais cela ne suffit pas et face aux enjeux nous pouvons décliner plusieurs recommandations en deux volets.

Recommandation n° 3 : Passer à l'échelle dans la formation des enseignants

La formation des enseignants doit permettre le développement de leur culture numérique et le développement de leurs compétences numériques, dont le développement de la pensée informatique (aussi dénommée *computationnelle*). Le développement de ces compétences doit permettre à chaque enseignant de :

- développer une approche au numérique lui permettant de maîtriser les usages au-delà d'acquérir une assurance dans sa posture de formateur face à l'informatique ;
- développer des compétences pour lui permettre un positionnement critique et éclairé face au numérique dans la société mais aussi dans son intégration en classe ;
- être en disposition d'intégrer de manière effective des usages du numérique dans des activités d'apprentissage dans sa discipline.

À ce titre, l'intégration au sein des INSPÉ de formations plus approfondies à la spécialité numérique et sciences informatiques (NSI) et à la préparation du CAPES informatique doit être soutenue tant en formation initiale que via des DIU en formation continue. Cette formation devrait également s'accompagner de formations plus larges en lien avec l'enseignement Sciences Numériques et Technologie (SNT) pour tous les enseignants au sein des différentes spécialisations. Les formations élargies au SNT pour tous et pour toutes permettraient à une communauté large d'apprenants, mais aussi à des adultes enseignants et formateurs d'en bénéficier.

Pour mener à bien ces nouveaux enseignements, une formation de base, comme celle que dispense le MOOC https://classcode.fr/snt ne suffit pas si elle n'est pas « enrichie » : il faut un véritable accompagnement au cours du temps, à travers des communautés de pratiques qui doivent bénéficier d'un vrai apport de personnes expertes mais aussi et surtout d'une analyse réflexive des premières expériences d'enseignement du terrain.

118. https://chiche-snt.fr/

Il s'agit donc de maintenir un enseignement sur le numérique, malgré l'absence explicite de telles heures de formations dans la nouvelle maquette MEEF, et de créer un réseau d'apprentissage personnel (RAP) pour développer un réseau d'entraide et savoir tirer profit des communautés de pratiques, pour soutenir le développement professionnel des personnes enseignantes.

Cela implique aussi une augmentation importante du nombre d'heures consacrées à la formation des enseignants en exercice, avec une reconnaissance des heures de formation en ligne et de la participation aux communautés de pratiques. On notera que, dans le cadre de la réorganisation annoncée du réseau *Canopé*, la formation continue des enseignants devrait être l'une de ses missions principales. Le réseau *Canopé* se positionne comme acteur clé en lien avec la formation continue au numérique, tout comme l'accompagnement aux transformations pédagogiques qui ont lieu en situation de continuité pédagogique.

Par ailleurs, le besoin de formation en pédagogie des ingénieures et ingénieurs, dits pédagogiques des entreprises produisant des ressources pédagogiques, devient tout aussi important. En effet, la création de ressources numériques interactives, parfois utilisées en autonomie ou semi-autonomie, déporte le volet pédagogique bien plus[119] sur le développement de la ressource que de son utilisation. Il est donc essentiel de former ces ingénieurs à la fois à la didactique des disciplines enseignées et aux leviers pédagogiques, non sans les rendre capables de scénariser et de faire un usage critique et éclairé du numérique. Dans le cadre des INSPÉ, la mention du master MEEF pratiques et ingénierie de la formation (PIF) permet de développer ce type de profil, tandis que des actions de formation innovantes de type « *SmartEdTech* »[120] permettent tant à des professionnels issus du monde de l'éducation qu'à ceux provenant du monde du numérique de développer une approche interdisciplinaire pour le développement de projets EdTechs qui intègrent de manière effective les savoir-faire des deux communautés.

Recommandation n° 4 : Vers une « université citoyenne et populaire du numérique » apte à assurer la formation pour tous et pour toutes au numérique

La formation au numérique est un enjeu citoyen qui doit donner lieu à des actions visant à développer la culture numérique et les compétences numériques

119. … Que pour un manuel scolaire papier, encore que les « cahiers » au sens des cahiers de devoirs de vacances ou les « fiches » des cours peuvent aussi changer qualitativement le rôle de la personne enseignante, devenue au pire simple surveillant ou surveillante du travail à faire ou au contraire profiter de cette semi-autonomie pour développer une pédagogie différenciée, etc.
120. On pense à des programmes de formation sur le modèle du MSc SmartEdTech à vocation internationale, http://app.univ-cotedazur.fr/smartedtech

des différentes catégories d'âges et de métiers. Cette formation est particulièrement critique pour les décideurs et décideuses à l'échelle locale et nationale, dans les choix d'investissement liés au numérique éducatif au niveau municipal et plus généralement au niveau de leurs responsabilités départementales ou régionales.

Par exemple, des pays comme la Finlande ont mis en place une formation en ligne de 50 heures à destination des cadres du pays, qui est également accessible à l'ensemble de sa population afin de comprendre les mécanismes de l'apprentissage machine[121] et des enjeux sociétaux induits par ces technologies disruptives. En France, la formation[122] https://classcode.fr/iai complémentaire de celle-ci et mettant l'accent sur des activités ludiques concrètes et faciles à partager, devrait permettre d'inclure le plus grand nombre, et pourrait servir de base à une formation qui pourrait toucher plus de 1 % de la population, tandis qu'une version française de la formation finnoise est en cours de réalisation, et que d'autres formations moins techniques comme Objectif IA[123], peuvent offrir une première entrée culturelle sur ces sujets.

Au-delà de ces ressources, il faut créer un espace de partage et de réflexion collective sur ces sujets. Dans cette visée, la notion d'« université populaire du numérique[124] » en ligne s'appuie sur les succès d'initiatives telles que *Class'Code*[125] engagée par Inria en 2016; cette action de formation hybride offre un maillage du territoire au sein de tiers-lieux permettant de faire coopérer les acteurs de terrain. Après quatre ans de déploiement, plus de 80 000 personnes ont été formées, plus de 70 partenaires dans 10 régions métropolitaines et en outre-mer participent à des niveaux divers et plus de 430 000 internautes ont accédé aux ressources – librement réutilisables – proposées. En rassemblant d'autres initiatives, p. ex., en faisant appel aux entreprises du numérique pour engager leur personnel dans des actions de retour à la société sous la forme de formation au numérique en prenant appui sur celles qui le font déjà, cette proposition d'université populaire du numérique pourrait assez facilement éclore.

Concrètement, il s'agit de passer de la formation des enseignants à la formation de toutes les citoyennes et tous les citoyens, labellisée et attestée, pour couvrir un besoin de formation à la pensée informatique tout au long de la vie, à travers une démarche partenariale et collective implémentée par l'action collaborative de ses partenaires. De façon hybride (en ligne et sur les territoires) on vient y satisfaire sa curiosité, discuter des questionnements posés par ces sujets, et surtout relier à son quotidien – p. ex., à l'aide de démarches de bricolage (ou *maker)* – ces techniques

121. https://www.elementsofai.com
122. Formation citoyenne entièrement gratuite et réutilisable.
123. https://openclassrooms.com/fr/courses/6417031-objectif-ia-initiez-vous-a-lintelligence-artificielle
124. https://hal.inria.fr/hal-02145478v1
125. https://project.inria.fr/classcode/

pour les apprivoiser, cette offre se mettant au service des structures existantes comme détaillé dans [Atlan&al-2019].

Il est important que ces formations se fassent par rapport à un référentiel de compétences et, pour rester indépendant des certifications liées à des produits commercialisés, nous proposons de faire de la certification *Pix* la référence française en matière de compétence informatique.

6.3 Action publique

Recommandation n° 5 : Créer les conditions du développement et de la mise à jour de ressources éducatives numériques comme des biens communs

Il est nécessaire de créer des biens communs en éducation[126] qui soient évolutifs et basés sur des ressources libres et éditables par les acteurs éducatifs. Ces ressources doivent pouvoir être indexées de manière à faciliter leur usage par les enseignants. Actuellement, malgré l'existence d'une quantité très importante de ressources, la localisation de celles-ci et la capacité à trouver facilement les ressources nécessaires pour les différentes disciplines et niveaux éducatifs reste un défi. Par ailleurs, certaines ressources sont limitées dans leur diffusion parce qu'elles ont été développées avec des technologies propriétaires ou sont accessibles uniquement via un abonnement. L'accessibilité de toutes les REN (ressources éducatives numériques) relève d'un enjeu éducatif majeur pour assurer que les inégalités éducatives ne s'accentuent du fait des limites d'accessibilité des ressources. Il faut souligner que les situations de handicap aggravent ce problème d'accès aux ressources. Dans ce contexte, on parle alors de l'absence d'accessibilité numérique qui exclut *de facto* des personnes du droit élémentaire de tous les citoyens à la formation. Cette remarque peut être étendue à l'accès à l'information, au divertissement, à l'emploi *via* les outils numériques devenus incontournables aujourd'hui. Enfin, nous pouvons rappeler que cette exclusion est d'autant plus douloureuse à vivre et à constater que le numérique offre des solutions bénéfiques potentielles aux personnes en situation de handicap.

Les dispositifs technologiques sont également un enjeu, et la crise liée au Covid-19 a souligné le nombre d'élèves et d'étudiants ne disposant pas d'un support technologique et d'une connexion internet permettant de suivre les activités de continuité pédagogique proposées par les enseignants.

126. Voir p. ex., cet article et les rapports de l'UNESCO qui sont référencés https://eduscol.education.fr/numerique/dossier/competences/communs-information-connaissance/enseigner-les-communs

Recommandation n° 6 : Garantir la portabilité des données personnelles éducatives et développer l'interopérabilité des solutions logicielles

Le règlement général sur la protection des données (RGPD) a été un acte fondateur en définissant le cadre juridique pour les données à caractère personnel des citoyens de l'Union Européenne. Ce règlement, construit sur les principes de « *privacy by design* » et de consentement individuel, garantit la portabilité des données pour chaque résident de l'UE qui est donc un droit exécutoire. À ce jour, aucun système, y compris au sein de l'Éducation nationale ou de l'Enseignement supérieur (voir note de bas de page n°65) ne garantit cette portabilité. Sans rentrer dans les débats techniques, des principes techniques existent en particulier via les systèmes de gestion des informations personnelles (PIMS) [Abiteboul&al-2015]. Les PIMS permettent aux personnes de gérer leurs données à caractère personnel dans des systèmes de stockage sécurisés locaux ou en ligne et de les partager au moment et avec les personnes de leur choix. Nous recommandons la création du dossier de formation personnalisé permettant à tout apprenant et à toute apprenante de se réapproprier ses données d'éducation dans le contexte déjà évoqué de société apprenante (voir recommandation n°6 de [Taddei&al-2017]) et qui s'inscrit pleinement dans la réforme du compte personnel de formation.

Les standards pour le numérique éducatif se sont développés au cours des dernières décennies, notamment en lien avec des plates-formes de formation (*Learning Management Systems*) par le biais des normes comme *SCORM*, *AICC* ou *xAPI*. Le *standard Learning Technology Standards, IEEE-LTSC-LOM*, permet également de décrire des objets d'apprentissage. Malgré le développement initial de *SCORM*, les standards restent encore trop peu intégrés dans de nombreuses ressources éducatives. Ces standards ne tiennent pas suffisamment compte des aspects pédagogiques et didactiques, bien que la LOM[127] ou sa forme plus moderne la MLR (compatible avec le Web sémantique) [Bourda & al-2010] intègre des éléments pédagogiques, sans vraiment faire office de standard[128]. La plateforme *edX*[129] y réfléchit car il est nécessaire de développer un standard si l'on veut disposer de normes plus largement utilisées. Le développement d'une terminologie commune en sciences de l'éducation comme le propose le « *Lexicon project* » [Clarke&al-2017] est également un enjeu tant pour la recherche en sciences de l'éducation que pour le développement de solutions éducatives interopérables.

127. https://fr.wikipedia.org/wiki/Learning_Object_Metadata
128. On trouve ici https://www.w3.org/community/opened/wiki/Vocabularies#Educational_Resources et là https://schema.org/docs/search_results.html?q=education des éléments de définition de vocabulaire contrôlés sur ces sujets.
129. https://www.edx.org voir aussi https://fr.wikipedia.org/wiki/EdX

Recommandation n° 7 : Créer un observatoire des EdTechs

Une première initiative avait vu le jour en mars 2017 avec la création d'un *Observatoire EdTechs* porté par *Cap Digital* avec le soutien de la Caisse des dépôts et de la MAIF. Cet observatoire a permis de mettre en avant la dynamique des startups EdTechs mais n'a pas réussi, peut-être par manque de moyens et de maturité du secteur, à créer un observatoire des pratiques, des usages, de l'offre et de la demande dans le vaste champ de la formation (formation initiale et continue, etc.). Cet observatoire a été fermé en 2019.

Néanmoins, le besoin existe et va au-delà de la première version qui était essentiellement une liste statique d'entreprises des EdTechs. Actuellement, de très nombreux sites web fournissent des informations relatives au numérique éducatif : le très riche site *Eduscol* de l'Éducation nationale, le site de la DNE pour la veille et la diffusion des travaux de recherche sur le numérique dans l'éducation, les ressources pédagogiques développées par le CNED, les ressources de Canal U, l'initiative *HUBBLE* déjà citée, l'observatoire *eCarto* des territoires porté par la Banque des territoires, des observatoires d'académies (Paris, La Réunion, etc.), des sites d'associations d'entreprises (*Afinef, EdTech France*, *EducAzur*, etc.) Mais il n'y a pas à ce jour un observatoire qui permet d'agréger des informations, d'observer à l'échelle nationale des tendances et de mettre à disposition des données consolidées du numérique éducatif et encore moins d'avoir un travail de synthèse de référence et de parangonnage français et international (*a minima* dans l'espace francophone).

Aujourd'hui l'information sur le numérique éducatif est donc fragmentée et mélange contenus, solutions, informations, etc.

Aussi, nous recommandons de mettre en place **un observatoire (français) des EdTechs** pérenne sous la forme d'une plateforme web recensant[130] les dispositifs utilisés dans l'enseignement et la formation, avec des évaluations quand elles existent, une cartographie des équipes de recherche travaillant sur le numérique pour l'éducation, une cartographie des entreprises du secteur et de leurs solutions, un blog listant les innovations du moment, etc.

Un tel observatoire doit être le reflet de l'écosystème français des EdTechs et à ce titre il doit être construit en partenariat avec les associations d'entreprises et les *clusters* EdTechs régionaux mais aussi avec l'implication forte des acteurs

130. Ce recensement doit être le plus automatique possible et la plus-value sera l'organisation des informations, leur pertinence en incluant un moteur interne élaboré de structuration d'information. Un tel observatoire devrait être complété d'environnements spécifiques pour les échanges entre les formateurs sur leurs pratiques et leurs expériences.

de la formation (Éducation nationale, universités, écoles, etc.), du monde de la recherche et des collectivités territoriales. Cet observatoire devrait pouvoir jouer un rôle majeur de mise en relation avec des *alter ego* en Europe mais aussi dans ceux de l'espace francophone.

Pour porter une telle ambition, des moyens seront nécessaires mais il nous semble que pour garantir la neutralité et la pertinence de cet observatoire, il doit être porté par l'action publique à l'instar de ce qu'elle a réussi à faire avec PIX ; on pourrait p. ex., réfléchir à le structurer avec les nouvelles missions actuellement envisagées pour le réseau Canopé et certainement avec la collaboration des ministères les plus concernés (MENJ, MESRI, MEIN).

7

Annexes

Annexe 1 : Compléments sur l'intelligence artificielle

Depuis Alan Turing, puis surtout le fameux *workshop* de Dartmouth[131] (1956) qui a lancé le terme, on identifie schématiquement en intelligence artificielle (IA) deux grandes approches : logique/symbolique versus numérique/subsymbolique. On peut considérer, là encore en première approximation, que les approches logiques ont pour ambition de modéliser certains mécanismes de pensée (*mind*) tandis que les approches numériques ont pour ambition de modéliser certains mécanismes du cerveau (*brain*). Une autre manière de distinguer grossièrement les deux approches est de considérer, comme Alan Turing, l'IA comme un ***moyen*** (de résoudre des problèmes), sans préjuger des outils utilisés, ou au contraire de considérer comme les participants au *workshop* de Dartmouth, l'IA comme un ***but*** et donc de vouloir reproduire l'ensemble des raisonnements humains sous forme de programme logique, parfaitement réalisable par un ordinateur. C'est cette même différence de point de vue que l'on retrouve aujourd'hui entre IA faible (la seule qui existe actuellement, un programme d'IA donné ne sait résoudre qu'un unique problème) et IA forte (*Artificial General Intelligence,* AGI), qui serait un programme unique capable d'affronter tout problème.

Comme c'est toujours le cas en informatique, en regard des différentes formes de traitement (algorithmes), il existe différentes approches pour les modèles de données. Ainsi on peut considérer que les approches symboliques considèrent des représentations formelles de nos connaissances (p. ex., règles et raisonnements logiques, graphes de connaissances, Web sémantique) alors que les approches subsymboliques s'intéressent aussi aux données brutes, et le plus souvent moins structurées. Bien sûr, ces grandes familles ne forment qu'une partition approximative d'une situation plus complexe mais elles ont l'avantage de donner un cadre de références aux écoles de pensées. Et il existe également une zone grise, en constante évolution, regroupant l'ensemble des approches hybrides, qui combinent des méthodes de plusieurs écoles (p. ex., apprentissage et raisonnement sur des données hétérogènes).

La représentation (symbolique) et le raisonnement (logique) sur des connaissances sont historiquement liés et présupposent deux conditions : des connaissances explicites et formalisées (ontologies, bases de règles, faits, etc.) sur les « objets » manipulés, et des mécanismes d'inférence (déduction, induction, propagation de contraintes, etc.) avec lesquels le système effectue des « raisonnements »

131. https://en.wikipedia.org/wiki/Dartmouth_workshop

sur les « objets ». Cette école a historiquement évolué vers une séparation de la représentation des données de celle du raisonnement à travers, p. ex., les formalismes de représentations des connaissances à base d'ontologies, ce qui a permis de passer des systèmes experts monolithiques aux « systèmes à base de connaissances », où les bases de connaissances peuvent être échangées et utilisées par plusieurs systèmes et donc plusieurs méthodes pour différentes tâches et applications. L'avantage de telles approches est que la nature explicite des connaissances manipulées et des règles de manipulation rend possible la génération d'explications des résultats pour les utilisateurs : à tout moment, on peut notamment avoir accès à la trace de la succession des « décisions » du raisonnement sur les objets manipulés. Il y a trois grands défauts à cette approche ; le premier est qu'il y a des domaines où il n'y a pas de connaissance explicite bien formalisée ou consensuelle (p. ex., connaissances tacites, gestes de l'artisan, domaine non standardisé, etc.) ; le second est la difficulté de prendre en compte le bruit dans les données, bruit pourtant omniprésent dans le monde réel ; le troisième est la très grande difficulté d'expression exhaustive des connaissances explicites si le domaine d'analyse est trop vaste (p. ex., décrire la sémantique et les caractéristiques de tous les « objets » d'une ville, et leurs interactions potentielles pour aider à la conduite automobile autonome).

Ce dernier problème est notoirement connu sous le nom de « goulot d'étranglement de l'acquisition des connaissances » (« *knowledge acquisition bottleneck* ») et a entraîné, avec l'arrivée du déluge de données que nous connaissons (structurées ou non structurées) et l'augmentation exponentielle des puissances de calcul, l'âge d'or actuel de l'apprentissage automatique (*machine learning*), vaisseau amiral aujourd'hui de la seconde école, l'IA numérique, et capable de construire des modèles (et donc d'extraire des connaissances) aussi bien d'images et de sons que de pages web.

Cette école subsymbolique (que nous assimilerons par souci de simplicité à l'apprentissage automatique) peut se ramener à deux grandes familles notamment : d'une part, les techniques d'apprentissage à partir d'exemples, supervisé, semi-supervisé ou non supervisé, et d'autre part les techniques d'apprentissage par renforcement, qui apprennent en interagissant avec leur environnement. Dans les deux cas, le but est d'apprendre une fonction de décision, classification des exemples dans le premier cas, choix d'actions à effectuer dans le second.

Dans le cadre de l'apprentissage à partir d'exemple, les méthodes d'apprentissage supervisé présupposent deux conditions : l'existence de données (extraites du monde réel ou issues de calcul) parfaitement étiquetées, c.-à.-d. pour lesquelles on connaît le résultat : classe discrète (p.ex., cette image est celle d'une tumeur maligne) ou valeur numérique (p. ex., la vitesse des vents sera de 150 km/h demain matin). Ce sont des problèmes de classification ou de régression classiques, que les statisticiens et

mathématiciens connaissent depuis longtemps, et pour lesquels ils ont proposé des méthodes telles les mesures de corrélation, d'analyse en composantes principales, de classification selon les K plus proches voisins, etc. De même, l'apprentissage non supervisé (aucun exemple n'a d'étiquette connue) est connu en statistique sous le nom de « *clustering* ».

Parallèlement, ont été proposées dans le domaine de l'informatique des approches différentes avec les arbres de décisions et les forêts aléatoires, puis donnant naissance à l'apprentissage statistique, avec les SVM (Séparateurs à Vastes Marges ou *Support Vector Machines*) et surtout les réseaux de neurones (en particulier les réseaux profonds - *Deep Neural Networks*, ou DNN). *Grosso modo*, toutes ces approches minimisent une fonction coût (ou perte) en recherchant les paramètres d'une fonction donnée *a priori* (p. ex., une fonction séparatrice pour la décision de classification, ou les poids d'un réseau de neurones). Pour certains types de données comme les images, la parole ou le texte, seuls les réseaux de neurones (profonds) sont aujourd'hui capables de traiter les volumes de données disponibles tant en taille de chaque donnée qu'en quantité de ces données.

Dans un contexte différent (mais nous verrons que l'on y retrouve aussi des caractéristiques de l'apprentissage à partir d'exemples), l'apprentissage par renforcement consiste à trouver la politique optimale pour un ***agent*** (un robot, un programme) placé dans un environnement donné, afin de maximiser le cumul des récompenses résultant de ses actions. Dans un jeu vidéo, la récompense peut être les points gagnés (ou perdus), pour un robot, ce peut être la distance parcourue en un temps donné. On retrouve ici aussi des problématiques connues des mathématiciens et des automaticiens en termes de contrôle optimal, ou de chaînes de Markov, mais ici encore les méthodes utilisées vont être radicalement différentes. À noter que *l'agent* accumule au cours de sa vie des masses de données : pour chaque action, le résultat sur l'environnement et la récompense reçue ; et qu'une approche récente consiste à apprendre directement ces fonctions (le modèle du monde, une fonction prédisant la récompense des actions, et la politique dans un contexte donné) sous forme d'un réseau de neurones profond.

Aujourd'hui, donc, pour mettre en œuvre ces deux familles d'apprentissage automatique (à partir d'exemples ou par renforcement), les approches les plus utilisées sont basées sur les réseaux de neurones profonds. Bien que proposées dès la fin des années cinquante, il a fallu attendre les années 2010 pour voir des avancées spectaculaires dans le domaine de la reconnaissance d'images tout d'abord (apprentissage supervisé), puis envahissant de nombreux domaines (audio et vidéo, traitement du langage naturel avec en particulier la traduction automatique, et bien sûr les jeux pour l'apprentissage par renforcement). Ces avancées sont dues à la

disponibilité d'énormes masses de données étiquetées, et surtout à l'augmentation extraordinaire de la puissance des calculateurs et à l'utilisation opportuniste d'accélérateurs graphiques initialement optimisés pour du calcul géométrique. On est ainsi capable à l'heure actuelle d'entraîner des réseaux de neurones profonds ayant des centaines de millions de paramètres – au prix, il est vrai, d'une dépense énergétique colossale. L'archétype de l'apprentissage supervisé, source des premiers succès retentissants, est leur fabuleuse capacité de reconnaissance d'images, à partir de dizaines de milliers ou de millions d'exemples classés. L'archétype de l'apprentissage par renforcement est le programme *AlphaGoZero*[132], qui à partir de connaissance minimale explicite (règles de placement des pions), met à jour les poids de ses fonctions internes (politique et prédiction du résultat) à travers l'exploration de millions de parties du jeu de go qu'il joue contre lui-même.

Mais au-delà des résultats obtenus, de nombreux problèmes subsistent dans le domaine des DNN, voire sont créés par l'apparition et la généralisation de ces techniques (il est aujourd'hui possible de télécharger des réseaux déjà entraînés pour de nombreuses tâches). Ces problèmes sont d'ordre technique, et les recherches se poursuivent, mais aussi d'ordre sociétal, légal ou éthique, et il faut là élargir la réflexion bien au-delà du monde informatique.

Concernant les aspects techniques (quoiqu'avec des retombées sociétales certaines), le problème le plus important aujourd'hui est peut-être l'énorme consommation énergétique déjà mentionnée. p. ex., l'ordre de grandeur du coût en électricité du dernier succès annoncé en terme de chatbot généraliste est le million de dollars. De nombreuses recherches cherchent à promouvoir l'apprentissage frugal et à diminuer l'empreinte écologique de l'apprentissage (il faudrait aussi mentionner bien sûr le coût des data centers, indépendamment de l'apprentissage, mais ce n'est pas le propos ici).

Signalons également qu'aujourd'hui, la mise au point de l'architecture du réseau profond pour un nouveau problème (hors le traitement du signal et du langage naturel) relève plus du savoir-faire humain (ou de l'art) que de la science.

Il faut également signaler la faiblesse des réseaux profonds face aux attaques malfaisantes, via ce qu'on appelle les exemples adversariaux : il suffit de modifier quelques pixels d'une image pour faire « dérailler » le modèle et lui faire *prendre des vessies pour des lanternes*. Et quelques morceaux de scotch blanc bien placés sur un panneau « stop » le font reconnaître comme un panneau de limitation de vitesse à 45 km/h, avec les possibles conséquences dramatiques qu'on imagine. En allant plus loin, il est aujourd'hui impossible de certifier un modèle profond appris, comme

132. https://fr.wikipedia.org/wiki/AlphaGo_Zero

c'est possible (et requis) dans les domaines critiques (aviation, sûreté nucléaire, etc.)

Ainsi, il est aujourd'hui impossible de prouver qu'un robot ne fera jamais de mal à un être humain, comme Asimov l'avait imaginé (voir les récents accidents d'essais de véhicules autonomes).

Mais on se retrouve vite à la frontière entre problématique technique et interrogation sociétale : la fiabilité, inaccessible aujourd'hui donc, n'est qu'un des facteurs indispensables pour une IA en qui l'humanité pourra avoir confiance. Un autre critère important, lui aussi source de très nombreuses recherches aujourd'hui, est l'explicabilité : comme on l'imagine aisément, comprendre les décisions d'un modèle fait de plus de huit milliards de variables est inaccessible à l'esprit humain.

D'autres problèmes sociétaux sont apparus du fait des possibilités offertes par l'apprentissage à partir de masses de données. Ainsi, le vieil adage informatique « *garbage in, garbage out* » est plus que jamais valable : si les données d'apprentissages sont biaisées (p. ex., rendant compte d'une discrimination présente dans notre société), alors le modèle appris aura le même biais. Là encore, des recherches sont en cours pour d'abord identifier les biais, et ensuite les faire disparaître.

Mais rien n'est tout noir ou tout blanc. Parmi les avancées permises par les réseaux de neurones profonds, il faut citer, au-delà de l'apprentissage de classification, l'apprentissage de représentations des exemples, voire de la distribution des exemples dans l'espace de représentation. C'est ainsi qu'il est possible de générer de nouveaux exemples, totalement factices, à l'aide des *Generative Adversarial Networks* (GAN), pour le meilleur (génération de textes, de styles de photos, de nouveaux designs d'objets) et pour le pire (*fake* vidéos p. ex.).

Finalement, il semble clair (et les premiers travaux sur l'explicabilité le confirment facilement) que les réseaux profonds n'apprennent absolument pas comme les humains (p. ex., on s'est rendu compte qu'un réseau très performant pour reconnaître les chars russes des chars européens utilisait … la neige présente sur toutes les photos de chars russes). Au-delà de ces exemples caricaturaux, l'utilisation des connaissances en sciences cognitives (et nous rejoignons là l'objet de ce livre blanc) pourrait être la source de nouveaux progrès significatifs dans le domaine de l'apprentissage automatique.

Plus généralement, l'hybridation entre IA numérique (représentée par les réseaux de neurones profonds aujourd'hui) et les approches symboliques (décrites en début d'annexe) offre de nombreuses pistes prometteuses de progrès. Ainsi, des travaux récents [Wang&al-2017] utilisent à la fois des ontologies et des réseaux de neurones,

mais ne font pas de raisonnement, ne sont pas explicatifs mais sont bien consommateurs et producteurs de représentations de connaissances. De même, les travaux de suggestion de liens manquants dans les graphes de connaissances combinent représentation des connaissances, plongements (embeddings) et réseaux de neurones pour trouver dans un graphe complexe (p. ex., réseau entre auteurs, documents, organismes et domaine) si des liens semblent manquer afin de faire des corrections ou des recommandations.

Pour conclure cette annexe, et revenir sur l'usage du terme IA que nous utilisons dans ce rapport, qu'il soit bien clair que nous faisons référence à tous les courants mentionnés ici, et pas uniquement à la partie aujourd'hui proéminente que sont les réseaux de neurones profonds, mais également à ceux qui s'intéressent à simuler le raisonnement, à représenter les connaissances, mais aussi à reproduire tous les autres comportements que nous, humains, reconnaissons comme intelligents, et ceci avec une multitude d'approches que nous n'avons pas le temps de développer comme, p. ex., celles basées sur des systèmes agents permettant de mettre en œuvre des comportements socialement intelligents au travers du contrôle d'interactions locales et des comportements individuels parfois très simples.

Annexe 2 : Quelques exemples de travaux de recherche des équipes-projets Inria

FLOWERS (https://flowers.inria.fr)
Équipe-projet commune entre Inria et ENSTA Paris, basée au centre Inria Bordeaux Sud-Ouest et à Paris.

FLOWERS étudie les mécanismes qui peuvent permettre aux robots et aux humains d'acquérir de façon autonome et cumulative des répertoires de compétences nouvelles sur des périodes prolongées. Cela inclut des mécanismes d'apprentissage dirigés par des formes de curiosité, ainsi que l'apprentissage par l'interaction avec des pairs, pour l'acquisition de compétences à la fois sensorimotrices et sociales. Les compétences sensorimotrices comprennent la locomotion, l'apprentissage de l'autonomie financière et la manipulation active. Les compétences interactives comprennent l'utilisation et la compréhension de la langue, les protocoles d'interaction adaptative et la collaboration entre l'Homme et la machine. Pour cela **FLOWERS** s'appuie sur deux approches : l'intelligence artificielle et les sciences cognitives. En partenariat avec des collègues des universités Columbia, New York, l'équipe développe une théorie computationnelle de la curiosité chez l'humain. Parmi les succès pour l'éducation et outre Poppy ci-dessous, **FLOWERS** a développé les applications *Kidlearn, Kidbreath* et *QuestionTraining*.



Chacun des six Poppy Torso doit apprendre de façon autonome en explorant ce qu'il y a autour de lui pour manier les manettes. © Inria / Photo C. Morel.

Kidlearn

La recherche développée au sein du projet *Kidlearn* élabore des algorithmes et des logiciels pour aider les humains à apprendre efficacement en adaptant et en personnalisant des séquences d'activités pédagogiques en fonction de chaque apprenant. Ils ont par ailleurs l'avantage de pouvoir être adaptés rapidement et facilement à chaque nouveau domaine pédagogique, sans qu'il soit besoin de réaliser une modélisation cognitive avancée des apprenants pour chacun de ces domaines. Ce système repose sur la combinaison d'algorithmes d'apprentissage automatique et d'un modèle général du système de motivation intrinsèque humain.

Kidbreath

Depuis quelques années, le domaine de la santé numérique est en pleine expansion tant sur les volets de la prévention, des soins que de l'éducation à la santé. L'asthme, première maladie chronique chez l'enfant, a des conséquences médicales graves (hospitalisations, décès). Des études expérimentales ont été menées en créant et en utilisant un serious game ciblant l'éducation thérapeutique d'enfants atteints de maladies chroniques. Celui-ci a ensuite été déployé avec succès pendant plusieurs mois auprès d'enfants asthmatiques en condition réelle d'usage. L'approche de personnalisation est assez similaire à celle de *Kidlearn*.

QuestionTraining

La recherche sur les pédagogies actives s'intéresse de plus en plus à la place de la curiosité dans les milieux éducatifs, considérée comme améliorant les facultés des enfants dans la prise en charge d'activités complexes, leur persistance dans un apprentissage, ou bien encore leur mémorisation de nouvelles informations. Malheureusement, les contenus éducatifs et pédagogiques actuels encouragent très peu les enfants à être curieux et ne les poussent que très peu à poser des questions, expression principale de la curiosité épistémique. L'enjeu principal du système *QuestionTraining* est de proposer de nouvelles technologies éducatives dirigées par la curiosité épistémique, permettant aux enfants de s'exprimer davantage et de mieux apprendre par le biais du questionnement. Le système consiste en un agent virtuel qui interagit avec les enfants de manière à leur faire travailler différents aspects de la formulation de questions ouvertes et associées à l'apprentissage dirigé par la curiosité.

Deux études en collaboration avec l'université de Waterloo (Canada) sur la curiosité.

L'un des principaux défis des écoles du XXI^{e} siècle consiste à servir la diversité des élèves dont les aptitudes et motivations d'apprentissage sont variées, comme la curiosité dans un milieu scolaire. Déterminés à améliorer la curiosité des enfants, les chercheurs ont développé une application numérique visant à favoriser les

questions liées à la curiosité à partir des textes informatifs (connaissances générales et scientifiques) et de leur perception de la curiosité. Une autre étude a porté sur l'intérêt de la curiosité-état pour l'exploration et l'apprentissage spatial de nouveaux environnements chez l'enfant Des tests neuropsychologiques ont été effectués pour évaluer les effets de médiateurs cognitifs (curiosité trait de l'enfant, fonctionnement spatial, prise de décision, etc.).

Projets robotiques pour l'éducation

L'équipe Flowers a développé deux dispositifs robotiques pour l'éducation, *IniRobot* et *Poppy Education*, qui reposent sur une pédagogie active d'investigation scientifique et un travail coopératif autour de projets. Les robots utilisés, *Thymio II* (EPFL, Lausanne, Suisse) et *Poppy* (Flowers, Inria Bordeaux, France), sont *open source* matériel et logiciel, et programmables avec divers langages, visuels ou textuels. Les activités pédagogiques associées sont libres et gratuites, téléchargeables sur des sites web spécifiques.

Le projet *Poppy Education* est plus récent que le projet *IniRobot,* dont il est un prolongement. Plusieurs centaines de kits pédagogiques robotiques, bras *Poppy Ergo Jr* et activités pédagogiques associées, sont actuellement dans des établissements scolaires, principalement en prêt en ce qui concerne les robots. Une dizaine de formations d'enseignants a accompagné cette diffusion.

Thibault Desprez a mené une thèse intitulée *« Conception et évaluation de kits robotiques pédagogiques. Analyse écologique et expérimentale des usages de la robotique à l'école en terme de savoir et de motivation »* dans laquelle différentes activités de robotique pédagogique ont été étudiées dans le but de comprendre leur impact sur l'engagement des élèves [Desprez-2019]. Cette recherche est menée en partenariat avec 25 lycées de la région de Nouvelle Aquitaine dans le cadre du projet Poppy Education (Inria) et du projet e-Fran PERSEVERONS.

MNEMOSYNE (https://team.inria.fr/mnemosyne)
Équipe-projet commune entre Inria, Université de Bordeaux, Bordeaux INP et CNRS.

À la frontière entre intelligence artificielle et neurosciences computationnelles, l'équipe **MNEMOSYNE** propose de modéliser les principales formes de mémoire et d'apprentissage dans le cerveau et d'étudier comment elles sont organisées pour réaliser des fonctions cognitives complexes. Les neurosciences rendent compte d'une dichotomie majeure entre mémoires et apprentissages explicites (ex. : sémantique ou épisodique) et implicites (ex. : procédural, habituel). Les mécanismes clés pour comprendre des fonctions cognitives comme le raisonnement, la prise de décision, les processus attentionnels et le langage reposent sur la compétition, la coopération et le transfert entre ces différentes manières d'apprendre et de

mémoriser l'information. Ces mécanismes sont actuellement le sujet de progrès majeurs dans différents champs des neurosciences.

En particulier, en lien avec le laboratoire LINE d'UCA en sciences de l'éducation, et avec le conseil de l'équipe-projet **FLOWERS,** l'action exploratoire « *Artificial Intelligence Devoted to Education* » *(AIDE)* commence à étudier dans quelle mesure des approches ou des techniques issues des neurosciences cognitives en lien avec l'apprentissage machine et des outils symboliques pour représenter les connaissances, pourraient aider à mieux formaliser l'apprentissage humain tel qu'étudié en sciences de l'éducation. Autrement dit : on profite du fait que nous comprenons mieux comment fonctionne notre cerveau pour aider à mieux comprendre comment nous apprenons. Dans ce vaste programme, on se concentre sur l'apprentissage de la pensée informatique, c'est-à-dire ce qu'il faut partager en matière de compétences pour maîtriser le numérique et pas uniquement le consommer ou le subir. Et sur la modélisation de tâches d'apprentissage bien précises.

C'est un sujet exploratoire, par exemple au lieu d'utiliser les mécanismes dits d'intelligence artificielle pour essayer de fabriquer des « assistants » : des algorithmes pour mieux apprendre, on se concentre d'abord sur les formalismes issus du domaine de « l'intelligence artificielle » (numérique et symbolique) pour mieux comprendre la façon dont on apprend. Mais c'est aussi un sujet de recherche avec des applications : on espère contribuer à la réduction des inégalités éducatives et à la persévérance scolaire, en se concentrant sur les compétences transversales également appelées compétences du XXI^{e} siècle, qui incluent la pensée informatique.

POTIOC (https://team.inria.fr/potioc/fr/)
Équipe-projet commune entre Inria, Université de Bordeaux et CNRS.

HOBIT

Hybrid Optical Bench For Innovative Teaching est une plateforme d'apprentissage qui permet de simuler et d'augmenter des expériences d'optique. L'expérimentation en optique est essentielle pour comprendre des phénomènes complexes (p. ex., interférométrie de Michelson). Malheureusement, les expériences traditionnelles en optique sont souvent difficiles à mettre en place (coûteuses, fragiles, potentiellement dangereuses), et les étudiants restent souvent confrontés à des problèmes de compréhension. Le projet Hobit permet de simuler de telles expériences au moyen d'un banc optique hybride basé sur la réalité augmentée spatiale et l'interaction tangible. Les étudiants peuvent interagir avec des répliques physiques de composants optiques (source de lumières, lentilles, miroirs…), et observer le résultat de la simulation numérique sous-jacente comme s'il s'agissait du résultat de la véritable expérience optique. De plus, des augmentations pédagogiques projetées directement

sur la table de travail viennent soutenir la compréhension des phénomènes étudiés. Cette plateforme a été mise au point en collaboration avec des collègues physiciens, électroniciens, et spécialistes en sciences de l'éducation. Une étude réalisée avec plus de 100 étudiants et 6 professeurs nous a permis de montrer que ce type de dispositif permettait un meilleur apprentissage par rapport aux approches standard. Voir https://project.inria.fr/hobit



Erwan Normand, ingénieur de l'Université de Bordeaux au sein de l'équipe-projet Inria POTIOC, présente Hobit. © Inria - Potioc / Photo M. Magnin.

e-TAC

Au sein du projet *e-FRAN* **e-TAC** (Environnements Tangibles et Augmentés pour l'Apprentissage Collaboratif), nous explorons des approches alternatives aux technologies écrans/claviers/souris dans les collèges et les écoles, afin de faciliter la mise en place de scénarios d'apprentissage collaboratifs soutenus par le numérique. En particulier, des séances de travail itératives avec des enseignants et des élèves nous ont permis de mettre au point *CARDS (Collaborative Activities based on the Real and the Digital Superimposition)*, un système interactif qui permet de mélanger des composants physiques (papier, crayon) et des composants numériques (images, vidéos, sons…) au sein d'un même environnement hybride. Concrètement, du contenu numérique est projeté sur des cartes de papier dont la position est capturée en temps réel par une caméra. *CARDS* permet ainsi d'engager les élèves dans des activités physiques et collaboratives, tout en leur permettant de bénéficier des possibilités offertes par le numérique (sauvegarde, utilisation de données multimédia…).

Teegi

Tangible EEG Interface a été conçu pour permettre à des utilisateurs novices d'explorer des phénomènes liés à l'activité cérébrale. L'activité cérébrale est un processus physiologique intangible qui peut être difficile à appréhender, notamment pour des enfants. Pour répondre aux besoins en supports pédagogiques et favoriser les apprentissages liés à ce type de concepts, nous avons mis au point une interface tangible interactive destinée à la visualisation d'activités cérébrales (*Teegi*). Une étude en classe a permis de montrer que ce type d'interface avait un potentiel éducatif important pour des enfants en contexte scolaire.
Voir https://team.inria.fr/potioc/fr/research-topics/introspectibles/teegi-v2/

Aïana

Les nouveaux systèmes d'enseignement numérique tels que les MOOC prennent une place de plus en plus importante dans les pratiques d'enseignement actuelles. Malheureusement, l'accessibilité pour les personnes handicapées est souvent oubliée, ce qui les exclut, en particulier les personnes souffrant de déficiences cognitives, ce qui est vraiment regrettable car l'intérêt d'utiliser ces pratiques spécialisées pour ce public est scientifiquement prouvé (théorie de l'autodétermination, conception universelle pour l'apprentissage).

Pour surmonter ces limitations, nous avons proposé de nouveaux principes de conception s'appuyant sur les domaines :

- **de l'accessibilité** (*Ability-based Design et Universal Design*, par exemple, les fonctionnalités de communication alternatives),
- **de la pédagogie numérique** (*Instruction Design* avec des fonctionnalités qui réduisent la charge cognitive : navigation par concept, ralentissement du flux…),
- **de la pédagogie spécialisée** (*Universal Design for Learning*, p. ex., la prise de notes automatique, et la théorie de l'autodétermination, par exemple, configuration de l'interface en fonction des besoins et des préférences des utilisateurs),
- **des interventions psychoéducatives** (par exemple, soutenir l'attention conjointe enseignant-apprenant).

À partir de ces principes et d'une approche de conception participative impliquant des étudiants handicapés et des experts dans le domaine du handicap, nous avons développé Aïana un lecteur de MOOC accessible, et construit un MOOC dédié à l'accessibilité qui a attiré plus de 12 000 inscrits sur la plateforme nationale FUN.
https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41012+self_paced/about

SCOOL (https://team.inria.fr/scool/)
anciennement SEQUEL (https://team.inria.fr/sequel/)
Équipe-projet commune entre Inria, université de Lille et CNRS (UMR CRIStAL)

Les travaux de l'équipe **SCOOL** se situent en apprentissage séquentiel, avec des applications notamment pour l'éducation et la santé. Plus précisément, nous nous intéressons aux problèmes de décision séquentielle dans l'incertain (modèles de bandits ou apprentissage par renforcement) dans des environnements non stationnaires.

En évaluation adaptative, l'idée consiste à apprendre une politique pour poser des questions à un apprenant afin de récolter de l'information sur ses connaissances. Plusieurs objectifs sont possibles selon le type de test :

- test de positionnement pour explorer les connaissances d'un apprenant ;
- test de certification pour garantir en peu de questions qu'un apprenant a au moins un certain niveau ;
- test de progression pour optimiser l'apprentissage de l'apprenant.

On peut apprendre un modèle génératif des données observées, ou bien ne pas supposer de modèle explicite et directement optimiser une fonction objectif (l'information apportée par le test, le nombre de bonnes réponses, ou bien la progression de l'apprenant). Nous avons proposé des stratégies efficaces minimisant le regret même dans le modèle de bandits plus général où la récompense de chaque exercice peut diminuer chaque fois qu'il a été présenté [Seznec&al-2019].

WIMMICS (https://team.inria.fr/wimmics/)
Équipe-projet commune entre Inria, Université Côte d'Azur et CNRS (UMR I3S)

En se basant sur les formalismes du Web sémantique et l'intelligence artificielle, l'équipe **WIMMICS** contribue à la compréhension de comment traiter, supporter, contrôler, exploiter et améliorer les données et interactions, (i) en proposant une approche multidisciplinaire pour analyser et modéliser les nombreux aspects des systèmes d'informations qui s'entrecroisent, de ces communautés d'utilisateurs et de leurs interactions et (ii) en formalisant et en raisonnant sur ces modèles pour proposer de nouveaux outils d'analyse et indicateurs, supporter de nouvelles fonctionnalités et améliorer la gestion de ces systèmes, de ces communautés, de ces interactions. Dans le domaine de l'éducation, cela inclut à la fois la représentation des traces d'apprentissage et plus généralement l'ensemble des connaissances mises en jeu dans les environnements d'apprentissage sous la forme de graphes de connaissances, le raisonnement sur ces représentations et leur opérationnalisation.



E. Korfed (ingénieur de recherche, ALOOF) a participé à la mise au point d'une appli qui permet d'afficher les personnalités (ici des acteurs) nées à une date donnée.. © Inria / Photo C. Morel.

Leurs contributions récentes incluent la formalisation d'un référentiel de connaissances et compétences pour les programmes scolaires des écoles élémentaires françaises, la modélisation sémantique et l'intégration des connaissances hétérogènes de systèmes éducatifs, l'analyse des connaissances dans différents environnements d'apprentissage et jeux sérieux, la génération automatique de questions d'entraînement ou d'évaluation à partir des données liées du Web relativement à des référentiels de compétences, la classification de questions d'entraînement pour les programmes d'études supérieures médicales relativement à leur niveau de difficulté.

CORSE (https://team.inria.fr/corse/)
Équipe-projet commune entre Inria, université Grenoble-Alpes, Grenoble INP et CNRS (UMR LIG)

L'EPC **CORSE** conduit l'action exploratoire AI4HI (*Artificial Intelligence for Human Intelligence*) dont le résumé est : allier les avancées en intelligence artificielle aux compétences de compilation et d'enseignement présentes dans l'équipe pour améliorer l'enseignement par la génération automatique d'exercices et leur recommandation aux apprenants, en particulier pour l'enseignement de la programmation et du « *debug* » à des novices. Le but de ce projet est de travailler sur ces deux aspects (confiance et motivation) en proposant aux apprenants des exercices personnalisés afin d'améliorer leur apprentissage mais également leur perception de leur apprentissage et de leur niveau (métacognition). Cela passerait ici par de l'entraînement adapté et de l'évaluation formative. Avec des indications pratiques pour pallier un problème, nous espérons ainsi pouvoir développer les capacités d'abstractions, le *mental model* (en particulier une meilleure représentation d'une machine notionnelle), ainsi que la confiance en soi.

En complément, on peut mentionner les trois formations suivantes liées à la santé :
1) Formation en endoscopie flexible dans le cadre de la plateforme *BEST « Business Engineering & Surgical Technologies »* (2 000 étudiants) (EPC **MIMESIS**)

2) Contribution à l'initiative SIDES *(Système Informatique Distribué d'Évaluation en Santé)* qui permet de disposer d'Épreuves Classantes Nationales (accès au 3e cycle de médecine) – 320 000 connexions/mois – 34 000 étudiants inscrits – 1 million d'épreuves soumises par les étudiants – 1 500 épreuves dans la base – un siècle d'annales pour 3 ans d'activités : EPC **IMAGINE**

3) ***Serious game « Medic ActiV »*** consacré à la modélisation cardiaque (EPC **CARMEN**)

Annexe 3 : Exemples d'initiatives pour la formation au numérique

Inria, à travers des réflexions et des actions menées le plus souvent en partenariat, contribue depuis des années au développement de l'enseignement de l'informatique, en proposant des formations (séminaires, MOOC[133]) destinées aux enseignants de cette nouvelle discipline, en développant des activités en liaison étroite avec des enseignants, ou en expérimentant des approches nouvelles tout en recueillant en aval les avis des acteurs de terrain et en évaluant en amont leurs bénéfices et leurs inconvénients. Cette éducation aux fondements du numérique est un préalable à l'usage éclairé du numérique en éducation.

L'apprentissage aux fondements du numérique *via* la programmation informatique a été intégré au programme scolaire dans les années quatre-vingt (Popat & Starkey, 2019) et n'a eu aucun impact jusqu'en 2010, date à laquelle il a été réintroduit avec une vision plus large incluant la littératie numérique et le développement de compétences, telles que résolution de problèmes et créativité. Aujourd'hui, différents pays adoptent des stratégies diverses. Chalmers (2018) mentionne une étude menée sur quatre enseignants australiens du primaire pour inclure le codage et la robotique dans leurs salles de classe grâce aux kits *LEGO® WeDo® 2.0*. Le New College Worcester, en Angleterre, a réalisé un test *bêta* avec des enfants malvoyants *via Code Jumper*, développé par *Microsoft* (Peters, 2019), un outil qui utilise des « *pods* » ou blocs de différentes formes pouvant être connectés à des motifs et fournissant des sorties audio. Dans le cadre d'un projet du programme *Jeunes chercheurs* de la bibliothèque britannique, deux garçons (âgés respectivement de treize et quatorze ans) ont créé un jeu dans *Mission Maker* basé sur le poème Beowulf (de Paula, Burn, Noss et Valente, 2018). Le but de cette activité était de favoriser la créativité des apprenants tout en intégrant les compétences en résolution de problèmes aux connaissances relatives aux matières des arts et des sciences humaines par le biais de la pensée informatique. Dans son article, Vaidyanathan (2013) parle d'une session BYOD (*Bring-Your-Own-Device*) qu'elle a animée avec des enseignants du district scolaire de Los Altos (LASD) aux États-Unis, en utilisant une méthode « montrer et dire » pour souligner que le codage peut être facilement compris avec les appareils de tous les jours. Earsketch.gatech.edu utilise un autre support innovant, un environnement de programmation virtuel qui enseigne le codage en *Python* et *JavaScript via* la composition musicale et organise des concours annuels pour tous les étudiants intéressés aux États-Unis. D'autres, comme *KidsWhoKode.org*, une organisation à but non lucratif basée en

133. https://learninglab.inria.fr/cours/ (voir en particulier ICN, *Thymio et « S'initier à l'enseignement en Sciences Numériques et Technologie »*).

Inde, suivent une approche d'apprentissage mixte pour enseigner le codage aux enfants âgés de dix à quatorze ans issus de couches économiquement défavorisées de la société. Ils combinent des activités débranchées, l'apprentissage en ligne, la formation en classe, ainsi que des conférences et des visites de l'industrie dans le but de donner aux apprenants des moyens numériques pour l'avenir (Kumari, 2018). De façon très similaire, *Kids Code Jeunesse* au Canada aide les enseignants et les professionnels de l'éducation à développer les compétences en matière de pensée informatique (Romero, Davidson, Cucinelli, Ouellet et Arthur, 2016). À travers ces différentes initiatives mondiales, nous pouvons observer les approches utilisées par les étudiants pour apprendre à coder dans des écoles et des environnements informels, toujours de manière pluridisciplinaire.

Ce texte a été repris d'une publication sur ces sujets Menon D., Romero M. Viéville T. « Smart Pedagogy for Digital Learning » *(Routledge). Ed. Linda Daniela, University of Latvia.*

CLASS'CODE https://classcode.fr

Le projet Class´Code est une réponse à un besoin : celui de former les professionnels de l'éducation (enseignants, animateurs) à initier les filles et les garçons à la pensée informatique, afin que nos enfants comprennent le numérique, le maîtrisent, donc s'en approprient les fondements. C'est très concrètement des formations hybrides (en ligne avec des temps de rencontres à travers le territoire) pour faire découvrir la programmation créative, aider à comprendre ce qu'est l'information et comment on la traite, se familiariser avec les réseaux, jouer avec des robots; bien entendu en apprenant à apprendre cela à des jeunes de 8 à 18 ans.

Projet 2016 du PIA (programme d'investissement d'avenir) opéré par la Caisse des dépôts et consignations, il rassemble autour de la *Société Informatique de France*, il est porté par Inria avec *MagicMakers* à la direction pédagogique, en utilisant la plateforme d'*OpenClassrooms*, en confiant *aux Petits Débrouillards* et *Simplon*. co le maillage du territoire, tandis que les associations – comme *Pasc@line* – de professionnels de l'informatique vont faciliter cette formation, avec la Fondation *La Main à la Pâte, Canopé 06*, des universités, des régions, … c'est plus d'une centaine de partenaires rassemblés dans le cadre de ces actions. À la fin du financement PIA, *Class'Code* s'est transformé en association loi 1901 à l'automne 2019.

Class'Code est aussi un « tiers-lieu » numérique où les mondes scolaire et extra-scolaire, le milieu industriel et académique, les geeks passionnés de techniques ou ceux qui s'intéressent plus aux aspects sociétaux, tous et toutes se retrouvent pour se former, partager des bonnes pratiques et s'entraider.

En matière de EdTechs, le projet Class´Code présente deux éléments intéressants :

1) d'une part, tout le monde s'étant formé au codage informatique justement, à la fois au niveau des équipes pédagogiques et des apprenants, il n'y a pas de césure entre les développeurs et les utilisateurs, les uns et les autres sont associés de manière horizontale et collégiale aux développements des fonctionnalités dans une démarche dite agile ;

2) d'autre part cette formation par et avec l'informatique, a dans son ADN un mécanisme de formation participative : on apprend pour réapprendre, de manière contaminante. De plus, on coconstruit ses outils logiciels ou pédagogiques, avant de les réutiliser, tandis que l'on apprend à apprendre avec les activités proposées ensuite aux apprenants finaux, donc de manière performative. Il va de soi que la démarche est reprise auprès de ces derniers, ce qui permet aussi d'apprendre à apprendre.

En 2020, *Class'Code* et ses partenaires ont lancé la production d'un MOOC large public pour expliquer au plus grand nombre « *l'Intelligence Artificielle … avec intelligence* » (MOOC Class'code IAI) disponible sur *FUN*.
https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41021+session01/about

« 1 scientifique - 1 Classe : Chiche ! » https://chiche-snt.fr/

En partenariat étroit avec le MENJ et un grand nombre d'acteurs dont le CNRS, la SIF, *la Fondation Blaise Pascal, la Fondation Inria*, etc. Inria s'engage dans cette opération d'envergure nationale, pour encourager le goût des élèves de Seconde pour les sciences du numérique grâce à la rencontre avec des scientifiques illustrant de manière pédagogique et attractive « la recherche » dans ce domaine et son impact pour la société. Tous les jeunes, garçons et filles, gagneront à mieux connaître les opportunités offertes par les filières scientifiques, en particulier dans le domaine du numérique. Les zones les moins favorisées seront l'objet d'une attention particulière afin d'atteindre tous les élèves d'un même niveau scolaire sur l'ensemble du territoire.

Les bénéfices de cette action sont multiples :

- Valoriser les échanges entre le monde de l'Éducation nationale et celui de la Recherche ;
- Promouvoir l'investissement des chercheurs dans leur mission de médiation scientifique ;
- Donner l'envie de mieux comprendre le numérique en tant que science, et éclairer ainsi le choix de l'option NSI en classes de Première et Terminale ;
- Accompagner l'engagement des filles dans le secteur du numérique.

Poppy Station

Devant l'ampleur et les directions prises par l'écosystème Poppy et le projet Poppy Education (§ Annexe 2), Inria ne pouvait pas assurer seul une pérennisation efficace de ces dispositifs. Ainsi, il a été décidé de créer une structure externe, avec différents partenaires : Poppy Station. Incluant tout ce qui touche à la plateforme robotique Poppy (matériels, logiciels, activités pédagogiques, communautés), cette nouvelle structure se veut un espace d'excellence pour construire de futurs robots éducatifs et pour concevoir des activités pédagogiques pour enseigner l'informatique, la robotique et l'intelligence artificielle.
https://www.poppystation.org

MOOCs du *Learning Lab Inria* (https://learninglab.inria.fr/cours/)

Parmi la vingtaine de MOOC réalisés par le Learning Lab Inria souvent en partenariat, certains présentés ci-dessous sont emblématiques :

MOOC *« L'Intelligence Artificielle… avec intelligence ! »*
https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41021+session01/about
Ce MOOC a pour but de décrypter le discours autour de l'IA pour passer des idées reçues à des questions sur lesquelles s'appuyer pour comprendre, manipuler des programmes d'IA pour se faire une opinion par soi-même, partager une culture minimale sur le sujet, pour se familiariser avec le sujet au-delà des idées reçues, et être en mesure de discuter le sujet, ses applications, son cadre avec des interlocuteurs variés pour contribuer à la construction des applications de l'IA.

MOOC *« S'initier à l'enseignement en sciences numériques et technologie »*
https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41018+session01/about
Une formation accompagnée en Sciences Numériques et Technologie. Dans le cadre de la réforme du lycée, l'enseignement des fondements de l'informatique prend une place importante. Ainsi dès la classe de SGT (Seconde générale et technologique), un nouvel enseignement, Sciences Numériques et Technologie, est proposé à tous.
Comment aider les enseignants de SNT ? Quels savoirs partager avec eux ? Quelles ressources sélectionner ? Quelles compétences leur transmettre pour qu'ils puissent assurer ce nouvel enseignement ?
Ce MOOC est un outil de formation un peu particulier : un espace de partage et d'entraide, où chacun construit son parcours selon ses besoins et ses connaissances, un cours en ligne qui évolue avec le temps ; on commence quand on veut et on y revient aussi longtemps qu'on en a besoin.

MOOC *« Le robot Thymio comme outil de découverte des sciences du numérique »*

https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41017+session01/about

Ce cours permet d'aborder la compréhension des mécanismes de base d'un robot tel que *Thymio*, sa programmation avec différents langages, son utilisation en classe avec les éléments pédagogiques associés.

Ce cours s'adresse à toute personne qui veut maîtriser le robot *Thymio*, mais il a été pensé en premier lieu pour les enseignants de primaire et de secondaire désireux de découvrir cet outil et de l'utiliser en classe. Il permet d'acquérir les bases de l'informatique et de la robotique, en proposant des situations-problèmes adaptées, en fournissant également des pistes pédagogiques pour l'animation en classe. Il répond aussi bien aux nouveaux programmes d'introduction des sciences du numérique à l'école en France qu'en Suisse et a été réalisé conjointement par Inria et EPFL, traduit en anglais et en allemand, et disponible sur la plateforme *FUN* et sur la plateforme de MOOC de l'EPFL.

MOOC *« Python 3 : des fondamentaux aux concepts avancés du langage »*

https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:UCA+107001+session02/about

Ce cours porte sur l'apprentissage du langage de programmation *Python*. Il s'adresse aussi bien à des programmeurs confirmés qui veulent découvrir et approfondir *Python*, qu'à des débutants en programmation de niveau bac scientifique, c'est-à-dire avec une certaine familiarité avec l'informatique, des notions d'algorithmique et une bonne capacité d'abstraction.

MOOC *« Protection de la vie privée dans le monde numérique »*

https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41015+session04/about

Ce cours aborde la notion d'identité numérique et les problèmes de vie privée associés à l'usage des courriers électroniques, des navigateurs web, des *smartphones*, des objets connectés et aux traces de nos consommations. Pour l'utilisateur connecté, ce cours conduit vers un usage éclairé et raisonné des applications et objets du monde numérique. Ce cours ne nécessite pas de prérequis : il s'adresse à tous ceux qui sont soucieux de mieux comprendre les enjeux de la protection de la vie privée sur Internet et de mieux maîtriser les outils numériques sur le plan des données personnelles.

MOOC *« Accessibilité numérique »*

https://www.fun-mooc.fr/courses/inria/41012/session01/about

Ce MOOC est un cours généraliste d'introduction à l'accessibilité numérique tant en termes de problématique générale que de présentation d'éléments de réponse concrets. Il est important de préciser qu'il ne s'agit pas d'un MOOC « réservé » à des personnes en situation de handicap mais bien d'un cours voulu accessible au

plus grand nombre. Il s'adresse notamment aux concepteurs de systèmes logiciels et développeurs de sites web et concerne donc plus largement les membres des communautés spécialisées en informatique, en sciences du numérique ou en sciences cognitives qu'ils soient dans la vie professionnelle ou encore étudiants.

Formation de master aux EdTechs

Dans cette section sont présentées deux formations en lien au domaine EdTech qui se sont développées récemment. D'autres formations de niveau master en sciences de l'éducation intègrent des contenus en lien au numérique éducatif.

MASTER AIRE DU CENTRE DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE (CRI)

Le *Centre de Recherches Interdisciplinaires* (CRI) a développé une activité de recherche et de formation permettant de dépasser l'approche centrée sur les technologies éducatives (EdTech) pour se centrer sur les sciences de l'apprendre. *« Les learning sciences intègrent l'impact de l'informatique sur l'apprentissage »*. Le master Approches Interdisciplinaires de la Recherche et de l'Enseignement (AIRE) (CRI / Université de Paris) est la première formation universitaire consacrée à ce nouveau champ d'activité en France. Il prépare notamment, à Paris, des chercheurs, entrepreneurs, enseignants, concepteurs pédagogiques, à comprendre les modes d'apprentissage à l'heure du numérique et à concevoir des projets utiles, pertinents et ambitieux avec les meilleurs outils numériques. Ce master repose sur une pédagogie créative et interdisciplinaire. *« Nous interrogeons le rôle sociopolitique et disruptif de la technologie dans les enjeux institutionnels et éducatifs. Il est question de mettre en évidence les liens entre éducation et société dans la transition numérique que nous vivons »*, explique Sophie Pène. Le master AIRE propose trois parcours : *« sciences de l'apprendre », « sciences du vivant »* et *« sciences du numérique »* adossés à deux nouvelles structures universitaires : l'institut des défis (CRI / Université de Paris) et l'École Universitaire de Recherche Interdisciplinaire de Paris (EURIP) (CRI / Université de Paris). Le premier a pour mission de structurer et conduire un programme de recherche-intervention qui autorise le déploiement de méthodes et d'outils qui contribuent à la mise en oeuvre d'une société apprenante et durable. Le programme EURIP, quant à lui, vise à explorer et à développer de nouvelles méthodes d'apprentissage par la recherche. Cette formation est donc pensée dans une continuité master – doctorat ; elle facilite ainsi l'accompagnement spécifique des étudiants désireux de poursuivre des recherches en sciences de l'apprendre. Ces deux structures contribuent à enrichir de façon considérable l'offre d'activités mises en oeuvre par l'équipe pédagogique AIRE avec le développement de nouvelles collaborations, la production diversifiée de formats de cours et un accompagnement accru des projets étudiants. De fait, *« les étudiants ne viennent pas qu'écouter*

des cours, mais ils viennent partager une expérience d'apprentissage. C'est ce que nous construisons au CRI depuis cinq ans » indique François Taddei, directeur du CRI, et il évoque *« l'importance de l'écosystème pour mettre au cœur la question d'apprendre à apprendre. Nous considérons que l'enseignement passe par trois dimensions : les cours, le mentorat et ce living lab, incarné par le CRI »*, note Sophie Pène. *« Le CRI associe une expérience de « maker » au fait d'apprendre à penser la démarche de recherche. Aux cours théoriques et méthodologiques pour comprendre les enjeux des pédagogies innovantes, nous associons un apprentissage fondé sur le «learning by doing» pour aller en profondeur sur la réalisation de curriculums ou de dispositifs éducatifs qui ont une vocation sociale et durable »*, selon Léa Ponchel.

MSC SMARTEDTECH DU *LABORATOIRE D'INNOVATION ET NUMÉRIQUE POUR L'EDUCATION (LINE)* DE L'UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR.

Dans le cadre de l'Idex UCA[JEDI], l'université Côte d'Azur (UCA) ouvre depuis deux ans un programme pour former les professionnels du numérique éducatif, avec 90 % de cours en ligne et deux semaines intensives pour faciliter la participation d'étudiants internationaux. On y développe une approche du numérique à la fois participative, critique et créative, tout en incluant résolument les enjeux sociaux et économiques. On y aborde tant la compréhension des sciences du numérique que les processus d'innovation dans l'intégration du numérique en éducation, les démarches de cocréation ou encore l'apprentissage par le jeu et l'approche « par le faire ».

Tout au long du programme, l'étudiant est amené à réfléchir sur son propre projet à l'éclairage des différents enseignements qui lui sont proposés. Il est accompagné pendant son parcours de manière personnalisée grâce à l'expertise d'enseignants-chercheurs et de partenaires industriels. Le programme permet aussi de découvrir certains domaines dits « disruptifs » de la pédagogie : remise en cause des modèles pédagogiques et des savoirs dominants, recentrage de l'apprentissage sur la créativité et l'analyse critique, mise en place de pratiques d'enseignements alternatives hors-classe. Les processus d'innovation dans l'intégration du numérique sont questionnés, les processus d'apprentissage décortiqués, afin d'ouvrir les espaces pédagogiques à la cocréation, à l'apprentissage par le jeu et à une pédagogie de l'expérience.

À notre connaissance, ce sont les deux seules formations disponibles sur notre territoire, au-delà de formations limitées à l'utilisation de technologies. Ces deux formations ont la particularité d'enseigner l'innovation et la différenciation en pédagogie de manière innovante et différenciée : faisons, ensemble, ce qu'on dit qu'on va faire. Elles ont un objectif commun : former aux pédagogies du XXIe siècle afin d'apprendre à utiliser et à comprendre les atouts du numérique pour l'éducation, mais aussi ses limites. Sans oublier le nécessaire questionnement à propos du sens

et de l'impérieuse nécessité de l'éducation, dans un monde connecté où cohabitent démocratisation de l'accès à de nombreuses ressources en ligne, et inégalités toujours plus criantes entre pays comme entre individus. Le numérique offre de nombreuses opportunités pour les enseignants comme pour les professionnels de la création de ressources. Mais, face aux nombreux « mythes » qui entourent le numérique éducatif (panacée ou repoussoir…) il est plus que jamais nécessaire de travailler ensemble, afin d'irriguer pédagogie et didactique au sein des EdTechs, et de permettre aux enseignants et autres professionnels de l'éducation de maîtriser les EdTechs.

Bibliographie

[Abiteboul&al-2013] : ***« Citoyens d'une société numérique : accès, littératie, médiations, pouvoir d'agir : pour une nouvelle politique d'inclusion »***, Serge Abiteboul, Nathalie Andrieux, Michel Briand, Cyril Garcia, Audrey Harris, Daniel Kaplan, Florence Le Ny, Sophie Pène, Valérie Peugeot, Benoît Thieulin, Brigitte Vallée, Christine Balagué, Rapport du Conseil national du numérique, 2013. <hal-01144022>.

[Abiteboul&al-2015] : ***« Managing your digital life with a Personal information management system »***, Serge Abiteboul, Benjamin André et Daniel Kaplan, Communications of the ACM, ACM, 2015, 58 (5), pp.32-35. hal-01068006.

[AFIA-2020] : ***« Dossier IA & Éducation »***, Bulletin n° 108 de l'Association française d'intelligence artificielle, avril 2020
(https://afia.asso.fr/wp-content/uploads/2020/05/108_avr20.pdf)

[Amadieu&Tricot-2014] : ***« Apprendre avec le numérique – Mythes et réalité »***, Franck Amadieu et André Tricot, Édition Retz 2014.

[Anderson-1983] : ***« The Architecture of Cognition »***, J.R. Anderson – Harvard University Press, Cambridge MA, 1983.

[Anderson-1996] : ***« ACT: A simple theory of complex cognition »***, J.R. Anderson - American Psychologist, 51(4), 355-365, 1996.

[Assude&al-2009] : ***« Plus-value et valeur didactique des technologies numériques dans l'enseignement. Esquisse de théorisation »***, Revista Quadrante, 18 (1-2), pp.7-28 , Teresa Assude et Catherine Loisy, 2009.

[Atlan&al-2019] : ***« Apprentissage de la pensée informatique : de la formation des enseignant·e·s à la formation de tou·te·s les citoyen·ne·s »***, C. Atlan, J.-P. Archambault, O. Banus, F. Bardeau, A. Blandeau, A. Cois. M. Courbin-Coulaud, G. Giraudon, S.C. Lefèvre, V. Letard, B. Masse, F. Masseglia, B. Ninassi, S. de Quatrebarbes, M. Romero, D. Roy , T.Viéville, Revue de l'EPI (Enseignement Public et Informatique), EPI, 2019. <hal-02145478>.

[Azaoui&al-2019] : ***« Usages et représentations des tablettes dans les foyers et à l'école : quelle continuité ? »***, Brahim Azaoui, Christelle Combe et Marco Cappellini, dans « *Une approche sociocritique : quels apports à l'étude du numérique en éducation ?* », Volume 21, Number 3, 2019, ISSN1911-8805 (digital).
https://www.erudit.org/en/journals/ncre/1900-v1-n1-ncre05141/1067709ar.pdf

[Béjean-2015] : ***« Pour une société apprenante : Propositions pour une stratégie nationale de l'enseignement supérieur »***, rapport de mission par Sophie Béjean et Bertrand Monthubert, septembre 2015, 249 pages.
https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/STRANES/12/2/STRANES_entier_bd_461122.pdf

[Berthier&al-2018] : ***« Les neurosciences cognitives dans la classe : guide pour expérimenter et adapter ses pratiques pédagogiques »***, Jean-Luc Berthier, Grégoire Borst, Frédéric Guilleray, Mickaël Desnos, ESF Sciences humaines ISBN 978-2-7101-3439-8, 2018.

[Bourda&al-2010] : ***« Métadonnées pour ressources d'apprentissage (MLR) - Nouvelle norme ISO de description de ressources pédagogiques »***, Yolaine Bourda, Gilles Gauthier, Rosa-Maria Gomez de Regil et Olivier Catteau. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), ATIEF, 17, 2010.
https://hal-supelec.archives-ouvertes.fr/hal-00589829

[Brotcorne&Valenduc-2013] : ***« Propositions pour un plan national e-inclusion horizon 2020 »***, Rapport pour le SPP Intégration sociale, décembre 2013.
http://www.ftu-namur.org/fichiers/Plan_national_e-inclusion_horizon_2020.pdf

[Cail&Salsi] : ***« La fatigue visuelle »***, rapport de recherche, par F. Cail, S. Salsi., Institut national de recherche et de sécurité (INRS), INRS 92, 1992, 58 p.
https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420177

[Canellas&al-2016] : ***« Class'Code a un an... et c'est un commencement »***, Camila Canellas, Colin de la Higuera, Émilie Peinchaud, Marine Roche. Revue 1024 de la SIF.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01772199

[Choffin&al-2019] : ***« DAS3H: Modeling Student Learning and Forgetting for Optimally Scheduling Distributed Practice of Skills »,*** Benoît Choffin, Fabrice Popineau, Yolaine Bourda et Jill-Jênn Vie, Proceedings of the Twelfth International Conference on Educational Data Mining (EDM 2019), p. 29-38, 2019.

[Danide-2010] : ***« Modélisation de l'apprenant : application d'un modèle cognitif au développement d'un système d'apprentissage »***, A. Danine, Thèse de l'université du Québec, juillet 2010, 393 pages.

[Dehaene-2012] : https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL4074101906544355845_Dehaene_GrandsPrincipesDeLApprentissage CollegeDeFrance2012.pdf ou https://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/symposium-2012-11-20-10h00.htm

[Dehaene-2020] : *« Nous avons besoin d'un Netflix pédagogique, centralisé et gratuit »*, Stanislas Dehaene, LeMonde.fr
https://www.lemonde.fr/societe/article/2020/05/05/stanislas-dehaene-nous-avons-besoin-d-un-netflix-pedagogique-centralise-et-gratuit_6038715_3224.html 5 mai 2020.

[Collet-2019] : ***« Les oubliées du numérique »***, Isabelle Collet, Édition Le Passeur, novembre 2019 .

[Cho&Shen-2013] : ***« Self-regulation in online learning »***, Cho, M. H., & Shen, D.. Distance education, 34(3), pp 290-301. 2013.

[Choffin&al-2019] : ***« DAS3H: Modeling Student Learning and Forgetting for Optimally Scheduling Distributed Practice of Skills »,*** Benoît Choffin, Fabrice Popineau, Yolaine Bourda et Jill-Jênn Vie, Proceedings of the Twelfth International Conference on Educational Data Mining (EDM 2019), p. 29-38. 2019.

[Clarke&al-2017] : ***« The lexicon project: Examining the consequences for international comparative research of pedagogical naming systems from different cultures »***, David Clarke, Carmel Mesiti, Yiming Cao, Jarmila Novotná, In Proceeding of the 10th Congress of the European Society for Reserch in Mathematics Education, February 2017. TWG11: Comparative studies in mathematics education, p. 1610-1617
(https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01938196/document)

[Clement&l-2015] : ***« Multi-Armed Bandits for Intelligent Tutoring Systems »***, Benjamin Clement, Didier Roy, Pierre-Yves Oudeyer et Manuel Lopes, Journal of Educational Data Mining, 2015.
https://arxiv.org/abs/1310.3174

[CNNum-2014] : ***« Jules Ferry 3.0 : Bâtir une école créative et juste dans un monde numérique »***, rapport du Conseil National du Numérique, octobre 2014, 119 pages.
https://cnnumerique.fr/files/2017-10/Rapport_CNNum_Education_oct14.pdf

[delOlmo&al-2020] : ***« Computational thinking through unplugged activities in early years of Primary Education »***, del Olmo-Muñoz, J., Cózar-Gutiérrez, R., & González-Calero, J. A. in Computers & Education, 150, 103832 (2020).

[Desprez-2019] : ***« Conception et évaluation de kits robotiques pédagogiques »,*** Thibault Desprez, Thèse de doctorat - 2019 - Université de Bordeaux.

[Farag&al-2019] : ***« Use of YouTube as a Resource for Surgical Education – Clarity or Confusion »***, Matthew Farag, Damien Bolton, Nathan Lawrentschuk, 2019 European Association of Urology. Published by Elsevier B.V.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405456919302937#bbib0065

[Fourgous-2012] : ***« Apprendre autrement à l'ère du numérique ; se former, collaborer, innover : un nouveau modèle éducatif pour une égalité des chances »***, rapport de la mission parlementaire de J.-M. Fourgous, février 2012, 237 pages.
https://www.vie-publique.fr/rapport/32386-apprendre-autrement-lere-numerique-se-former-collaborer-innov

[Frau-Meigs-2020] : ***« Pédagogie à distance : les enseignements du e-confinement »***, Divina Frau-Meigs. The Conversation,
https://theconversation.com/pedagogie-a-distance-les-enseignements-du-e-confinement-137327, mai 2020.

[Ghali&al-2018] : ***« Identifying brain characteristics of bright students »***, Ghali, Ramla, et al. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications 10.03 (2018) : 93.

[Giraudeau&al-2019] : *« CARDS: A Mixed-Reality System for Collaborative Learning at School »*, Philippe Giraudeau, Alexis Olry, Joan Sol Roo, Stéphanie Fleck, David Bertolo, et al.. ACM ISS'19 – ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, Nov 2019, Deajon, South Korea.
https://hal.inria.fr/hal-02313463v

[Gottlieb&al-2013] : *« Information Seeking, Curiosity and Attention: Computational and Neural Mechanisms »*, J. Gottlieb, P.Y. Oudeyer, M. Lopes, A. Baranes, Trends in Cognitive Science, 17(11), 2013.
http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2013.09.00
http://www.pyoudeyer.com/TICSCuriosity2013.pdf

[Green&Bavelier-2012] : ***« Learning, attentional control, and action video games »***, Green, C. Shawn, and Daphne Bavelier. Current biology, 22 (6), 197-206 ; 2012.

[Gruson&al-2020] : ***« Enseigner, ça s'apprend »***, Retz : Paris.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02532044/

[Houssaye-1988] : ***« Théorie et pratiques de l'éducation scolaire (I) : Le triangle pédagogique »***, Jean Houssaye, Berne, Suisse : éditions Peter Lang, ISBN 3-906754-95-2.

[Hu&Kuh-2002] : ***« Being (dis) engaged in educationally purposeful activities: The influences of student and institutional characteristics »*** Hu, S., & Kuh, G. D. in Research in Higher Education, 43(5), 555-575 ; 2002.

[Jonassen&al-2005] : ***« Model building for conceptual change »***, Jonassen, D., Strobel, J., & Gottdenker, J. Interactive Learning Environments, 13(1-2), pp 15-37, 2005.

[Jones-2000] : ***« Providing a foundation for deductive reasoning: Students' interpretations when using dynamic geometry software and their evolving mathematical explanations »***, Jones, K. Educational Studies in Mathematics, 44 (2000), pp 55-85.

[Kapur-2011] : ***« A further study of productive failure in mathematical problem solving: unpacking the design components »***, Kapur Manu , Instructional Science, 39(4), pp 561-579. 2011.

[Kucirkova&al-2019] : ***« Systematic review of young children's writing on screen: what do we know and what do we need to know »***, Kucirkova, N., Wells Rowe, D., Oliver, L., & Piestrzynski, L. E. . Literacy, 53(4), pp 216-225 (2019).

[Lai-2018] : ***« The Learner and the Learning Process: Research and Practice in Technology -Enhanced Learning »***, K. W. Lai. Second Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education, pp 127-142 ; 2018.

[Lin&al-2017] : ***« Effect of touch screen tablet use on fine motor development of young children »***, Lin, L. Y., Cherng, R. J., & Chen, Y. in J. Physical & occupational therapy in pediatrics, 37(5), 457-467 ; 2017.

[Lodge&Harrison-2019] : ***« The Role of Attention in Learning in the Digital Age »***, Lodge, Jason M. & Harrison William J. Yale Journal of Biology and Medecine , pp.21-28 ; 2019.

[Louveaux-2019] : ***« La refonte de la formation continue des enseignants en France, un outil de qualité ? »***, François Louveaux, revue internationale d'éducation de Sèvres (2019) (https://journals.openedition.org/ries/7672)

[Luengo&al-2019] : ***« Hubble, un observatoire des analyses des traces d'apprentissages »***, rapport ANR 14CE240015 (2015-2018), https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02091392/document

[Mariais&al-2019] : ***« Peut-on former les enseignant·e·s en un rien de temps ? »***, Christelle Mariais, David Roche, Laurence Farhi, Sabrina Barnabé, Sonia Cruchon, et al.. . EIAH'19 Wokshop : Apprentissage de la pensée informatique de la maternelle à l'université : retours d'expériences et passage à l'échelle, juin 2019, Paris, France.
https://hal.inria.fr/hal-02145466v2

[McKenzie&Santiago-2005] : ***« Education and Training Policy Teachers Matter: Attracting, Developing and Retaining Effective Teachers »***, McKenzie, P., & Santiago, P. (Eds.) OECD publishing (2005).

[Menon&Romero-2020] : ***« Game Mechanics Supporting a Learning and Playful Experience in Educational Escape Games »***, Divya Menon and Margarida Romero; Chapter 7 in the book ***« From GBL to Escape Games in education: what are game mechanics leading to a playful experience »***.
https://www.igi-global.com/book/global-perspectives-gameful-playful-teaching/235397

[Mauléon&al-2014] : ***« Le Réflexe Soft Skills : les compétences des leaders de demain »***, de Fabrice Mauléon, Jerôme Hoarau, Julien Bouret, Collection : Stratégies et management, Dunod, 2014.

[Mueller&Oppenheimer-2014] : ***« The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking »***, Mueller, P. A., & Oppenheimer, D. M. in Psychological science, 25(6), pp 1159-1168 (2014).

[Musial&al-2012] : ***« Comment concevoir un enseignement ? »***, Manuel Musial, Fabienne Pradère, André Tricot, Collection guide pratique ***« former, se former »*** Ed. de Boeck, 283 pages, ISBN 9782804169367 (2012).

[Naccache-2018] : ***« Parlez-vous cerveau ? »***, de Lionel et Karine Naccache, Odile Jacob, 2018.

[HeutteJ-2014] : ***« Persister dans la conception de son environnement personnel d'apprentissage : Contributions et complémentarités de trois théories du self »***. STICEF (sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation), Jean Heutte, ATIEF, 2014, Les Environnements Personnels d'Apprentissage : entre description et conceptualisation, 21, pp 149-184. ffhal-02133528f

[Nonaka-1995] : ***« Nonaka's Four Modes of Knowledge Conversion » in the book « The Knowledge-Creating Company. How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation »***, Kujiro Nonaka and Hirotaka Takeuchi, Oxford University Press, New York, 1995.

[OCDE-2004] : ***« Completing the foundation for lifelong learning: an OECD survey of upper secondary schools »***, Paris : Organisation for Economic Co-operation and Development, 2004.

[OCDE-2018] : ***« Regards sur l'éducation 2018 : Les indicateurs de l'OCDE »***, éditions OCDE, Paris. https://doi.org/10.1787/eag-2018-fr

[Paniagua&al-2019] : ***« Teachers as Designers of Learning Environments »***, Alejandro Paniaguai and David Istancei, Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement de l'OCDE.
https://www.oecd-ilibrary.org/education/teachers-as-designers-of-learning-environments_9789264085374-en

[Peraya-2008] : ***« Un regard critique sur les concepts de médiatisation et médiation : nouvelles pratiques, nouvelle modélisation »***, Peraya, Daniel, Les Enjeux de l'information et de la communication, 2008.

[Rezeau-2002] : ***« Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : du triangle au « carré pédagogique » »***, Joseph Rézeau, La revue du Geras, n° 35-36, pp 183-200, 2002. https://journals.openedition.org/asp/1656

[Rogalski-2015] : ***« Comment l'analogie intervient-elle dans les activités de formalisation en mathématiques ? Peut-on l'utiliser didactiquement dans ces activités, en classe ou à l'université ? »***, Marc Rogalski, Cahiers du laboratoire de didactique André Revuz n°15, 141, 2015.

[Romero&al-2017] : ***« Usages créatifs du numérique pour l'apprentissage au XXIe siècle »***, Romero, Margarida, Benjamin Lille etAzeneth Patiño, PUQ, 2017.

[Romero&al-2018] : ***« Que disent les sciences de l'éducation à propos de l'apprentissage du code ? »***, Margarida Romero, Stephanie Noirpoudre, Thierry Viéville. Revue de l'association EPI, https://www.epi.asso.fr/, 2018.
https://hal.inria.fr/hal-01969400v1

[Romero-2019a] : ***« Analyser les apprentissages à partir des traces »***, Margarida Romero, Distances et médiations des savoirs [en ligne], 26 | 2019, mis en ligne le 17 juin 2019. https://journals.openedition.org/dms/3754

[Romero-2019b] : ***« La programmation n'est pas que technologique. Programmer : une démarche sensible, culturelle et citoyenne pour résoudre des problèmes »***, Margarida Romero, Spectre, 2019.

[Romero&Kalmpourtzis-2019] : ***« Constructive Alignment in Game Design for Learning Activities »***, Margarida Romero et George Kalmpourtzis, in Higher Education. Information 11, 126 ; 2020.

[Romero&al-2020] : ***« Des neurosciences computationnelles aux sciences de l'éducation computationnelles pour la modélisation du cerveau de l'apprenant et du contexte de l'activité d'apprentissage »*** Margarida Romero, Frédéric Alexandre, Thierry Viéville, Gérard Giraudon, revue de l'AFIA, avril 2020.

[Roy-2015] : ***« Optimisation des parcours d'apprentissage à l'aide des techniques numériques »***, D. Roy, thèse CNAM septembre 2015, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01252695/document

[Ryan&Deci-2017] : ***« Self-determination theory : Basic psychological needs in motivation, development, and wellness »***, Ryan, R. M., & Deci, E. L., Guilford Publications – 2017.

[Sanchez&Plumettaz-Sieber-2018] : ***« Teaching and learning with escape games from debriefing to institutionalization of knowledge »***, Sanchez, E. et Plumettaz-Sieber, M, In International Conference on Games and Learning Alliance (pp. 242-253). Springer, Cham (2018, December).

[Sander-2018] : ***« Les neurosciences en éducation – Mythes et réalité »***, E. Sander, H. Gros, K. Gvozdic, C. Scheibling-Sève, Edition Retz, 2018.

[Segui&al-2019] : ***« An Intergenerational Information and Communications Technology Learning Project to Improve Digital Skills: User Satisfaction Evaluation »***, Seguí, F. L., de San Pedro, M., Verges, E. A., Algado, S. S., & Cuyàs, F. G. JMIR aging, 2(2), e13939, 2019.

[Seznec&al-2019] : ***« Rotting bandits are no harder than stochastic ones »,*** Seznec, J., Locatelli, A., Carpentier, A., Lazaric, A., & Valko, M. in the 22nd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (pp. 2564-2572), Avril 2019.

[Sigman-2017] : ***« Screen dependency disorders: a new challenge for child neurology »***, J Int Child Neurol Ass, 2017, vol. 17, p. 119, 2017.

[Simola-2005] : ***« The Finnish miracle of PISA : Historical and sociological remarks on teaching and teacher education »***, Simola, H., Comparative education, 41, 2005.

[Simondon-1958] : ***« Du mode d'existence des objets techniques »***, Gilbert Simondon, collection Analyse et Raisons Aubier éditions Montaigne, 1958 ; à noter qu'il y a eu 3 autres éditions augmentées aux éditions Aubier (1969, 1989, 2012).

[Smith&al-2015] : ***« Diagrammatic Student Models: Modeling Student Drawing Performance with Deep Learning »***, A. Smith, W. Min, B. W. Mott, et J.C. Lester, User Modeling, Adaptation and Personalization. UMAP 2015. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham vol 9146., 2015.
https://www.intellimedia.ncsu.edu/wp-content/uploads/smith-umap-2015.pdf

[Studer-2018] : ***« L'école dans la société du numérique »***, rapport n° 1296 de la commission parlementaire des affaires culturelles et de l'éducation, rapporteur Bruno Studer, octobre 2018 (92 pages).
http://www.assemblee-nationale.fr/15/rap-info/i1296.asp

[Sukel-2017] : ***« The Truth About Research on Screen Time »***, Kayt Sukel, article de review sur dana.org, 2017.
https://www.dana.org/article/the-truth-about-research-on-screen-time/

[Taddei&al-2017] : ***« Vers une société apprenante »***, rapport de mission, François Taddei, Catherine Becchetti-Bizot, Guillaume Houzel, rapport pour la ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le 5 avril 2017 (10 pages).
http://cache.media.education.gouv.fr/file/03_-_mars/19/0/2017_rapport_taddei_740190.pdf

[Taddei&al-2018] : ***« Un plan pour co-construire une société apprenante »***, François Taddei, Catherine Becchetti-Bizot, Guillaume Houzel, avril 2018 (88 pages).
https://cri-paris.org/wp-content/uploads/2018/04/Un-plan-pour-co-contruire-une-societe-apprenante.pdf

[Tricot-2016] : ***« Apprentissages scolaires et non scolaires avec le numérique »***, André Tricot. Administration Education, (4), pp 33-39, 2016.

[Tricot-2017] : ***« L'innovation pédagogique – Mythes et réalité »***, André Tricot, Édition Retz, 2017.

[VanLehn&Martin-1997] : ***« Evaluation of an assessment system based on Bayesian student modeling »***, Kurt VanLehn et Joel Martin International Journal of Artificial Intelligence in Education, 8, pp 179-221, 1997.

[Vie&al-2017] : ***« Pix: A Platform for Certification of Digital Competencies »,*** Jill-Jênn Vie, Benjamin Marteau, Nathalie Denos et Françoise Tort, Tech Report. https://tinyurl.com/y27g44sr

[Vie&Kashima-2019] : ***« Knowledge Tracing Machines: Factorization Machines for Knowledge Tracing »,*** Jill-Jênn Vie et Hisashi Kashima, Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, vol. 33, p. 750-757. 2019. https://arxiv.org/abs/1811.03388

[Wang&al-2017] : ***« Knowledge Graph Embedding: A Survey of Approaches and Applications »***, Q. Wang, Z. Mao, B. Wang, L. Guo, IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol.29, Issue: 12, pp 2724 - 2743 ; Dec. 2017.

[Wenger&al-2002] : ***« Cultivating communities of practice: A guide to managing knowledge »***, Wenger, E., McDermott, R. A., & Snyder, W. Harvard Business Press. 2002.

[Wing-2006] : ***« Computational Thinking »***, Janet Wing, Communication of the ACM, Vo.49, March 2006, pp 33-35 ;
www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/wing/www/publications/Wing06.pdf, ;
disponible sur Interstices en version française
https://interstices.info/jcms/c_43267/la-pensee-informatique

[Zahng&Rajat-2016] : ***« MinDeep Learning + Student Modeling + Clustering : A Recipe for Effective Automatic Short Answer Grading »***, Yuan Zhang et Rajat Shah International Educational Data Mining Society, 9th International Conference on Educational Data Mining, Raleigh, June, 2016.
https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED592661.pdf

© Inria - 12/2020

Domaine de Voluceau, Rocquencourt BP 105
78153 Le Chesnay Cedex, France
Tél. : +33 (0)1 39 63 55 11
www.inria.fr