



État de l'art et de la pratique de l'intelligence artificielle dans l'éducation (Holmes & Tuomi, 2022) [Traduction]

Résumé

Résumé en français

Les récents développements de l'intelligence artificielle (IA) ont suscité de grandes attentes quant à l'impact futur de l'IA dans l'éducation et l'apprentissage (IAEd). Ces attentes ont souvent été fondées sur une mauvaise compréhension des possibilités techniques actuelles, un manque de connaissances sur l'état de l'IA dans l'éducation et des visions excessivement étroites sur les fonctions de l'éducation dans la société. Dans cet article, nous passons en revue les systèmes d'IA existants dans l'éducation et leurs hypothèses pédagogiques et éducatives. Nous développons une typologie des systèmes d'IAEd et décrivons différentes manières d'utiliser l'IA dans l'éducation et l'apprentissage, en montrant comment celles-ci sont fondées sur différentes interprétations de ce qu'est ou pourrait être l'IA et l'éducation, et en discutant de certains obstacles possibles sur l'autoroute de l'IAEd.

Résumé en anglais

Recent developments in Artificial Intelligence (AI) have generated great expectations for the future impact of AI in education and learning (AIED). Often these expectations have been based on misunderstanding current technical possibilities, lack of knowledge about state-of-the-art AI in education, and exceedingly narrow views on the functions of education in society. In this article, we provide a review of existing AI systems in education and their pedagogic and educational assumptions. We develop a typology of AIED systems and describe different ways of using AI in education and learning, show how these are grounded in different interpretations of what AI and education is or could be, and discuss some potential roadblocks on the AIED highway.

Résumé en espagnol

Los recientes avances en Inteligencia Artificial (IA) han generado grandes expectativas sobre el futuro impacto de la IA en la educación y el aprendizaje (AIED). A menudo, estas expectativas se han basado en la incomprensión de las posibilidades técnicas actuales, el desconocimiento del estado del arte de la IA en la educación y una visión excesivamente estrecha de las funciones de la educación en la sociedad. En este artículo, ofrecemos una revisión de los sistemas de IA existentes en la educación y de sus supuestos pedagógicos y educativos. Desarrollamos una tipología de sistemas de AIED y describimos distintas formas de utilizar la IA en la educación y el aprendizaje, mostramos cómo se basan en distintas interpretaciones de lo que es o podría ser la IA y la educación, y analizamos algunos posibles obstáculos en la autopista de la AIED.



Référence :

Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. European Journal of Education, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>

Licence



Traduction et adaptation : François Bocquet (DNE-TN2) avec l'aide de DeepL.com

Avec l'aimable autorisation des auteurs.

Liste des abréviations

IA : intelligence artificielle

IAEd : IA pour l'éducation

NdT : Note du traducteur

STI : système de tutorat intelligent

ORA : outil de rédaction automatique





PLAN

1. INTRODUCTION.....	4
1.1 Un bref historique de l'avenir de l'IA dans l'éducation.....	4
2. QU'EST-CE QUE L'IA ?.....	9
2.1 L'IA basée sur les données.....	11
2.2 L'IA basée sur la connaissance.....	14
3. UNE TAXONOMIE DE L'IAEd.....	15
3.1 IAEd au service des élèves.....	17
3.1.1 Systèmes de tutorat intelligents (STI).....	17
3.1.2 Applications assistées par l'IA.....	18
3.1.3 Simulations assistées par l'IA (par exemple, apprentissage par le jeu, Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée).....	18
3.1.4 L'IA au service des apprenants à besoins particuliers.....	19
3.1.5 Outils de rédaction automatique de textes (ORA).....	19
3.1.6 Agents conversationnels.....	19
3.1.7 Évaluation formative automatique.....	20
3.1.8 Orchestrateurs de réseaux d'apprentissage.....	20
3.1.9 Systèmes de tutorat basés sur le dialogue.....	21
3.1.10 Environnements d'apprentissage exploratoire.....	21
3.1.11 Assistants d'apprentissage tout au long de la vie assistés par l'IA.....	21
3.2 IAEd au service de l'enseignant.....	22
3.2.1 Détection du plagiat.....	22
3.2.2 Curation intelligente des ressources pédagogiques.....	22
3.2.3 Surveillance de la classe.....	22
3.2.4 Évaluation sommative automatique.....	23
3.2.5 Assistant d'enseignement et d'évaluation assisté par l'IA.....	23
3.2.6 Orchestration de la classe.....	24
3.3 L'IAEd au service des institutions.....	24
3.3.1 Admissions.....	24
3.3.2 Surveillance d'examens - E-proctoring.....	25
4. DES OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT DE L'IAEd.....	26
4.1 Éthique.....	27
4.2 Personnalisation.....	28
4.3 Efficacité et impact.....	29
4.4 Le techno-solutionnisme.....	30
4.5 Le "colonialisme de l'IAEd".....	31
4.6 Marchandisation de l'éducation.....	32
5. VISION CONCLUSIVE.....	33
Références.....	35
A consulter aussi.....	51



1. INTRODUCTION

1.1 Un bref historique de l'avenir de l'IA dans l'éducation

Ces dernières années, on a souvent prétendu que l'intelligence artificielle (IA) était le "nouveau pétrole" (par exemple, Palmer, [2006](#)) ou, comme l'a suggéré la directrice générale de l'UNESCO dans son discours-programme de la Semaine de l'apprentissage mobile 2019, la plus grande invention depuis l'ère paléolithique. Plus récemment, il a même été affirmé (Lemoine, [2022](#)), et réfuté (par exemple, Sparkes, [2022](#)), qu'un système d'IA, le système de dialogue LaMDA développé par Google, était devenu sensible. Quelle que soit la réalité, des investissements massifs ont été réalisés dans la technologie de l'IA dans le monde entier (jusqu'à 94 milliards de dollars US pour la seule année 2021 ; Statista, [2022](#)), ainsi que des déclarations politiques très médiatisées sur la nécessité de promouvoir et de réglementer cette technologie émergente (par exemple, CE, [2018](#) ; OCDE, [2019b](#) ; UNESCO, [2021](#)).

Le potentiel de l'IA pour l'éducation et l'apprentissage (l'*utilisation* de l'IA pour l'éducation) et le rôle de l'éducation dans le développement de ce que l'on appelle désormais la culture de l'IA (l'*enseignement* de l'IA dans l'éducation) ont également fait l'objet d'une attention accrue et deviennent rapidement des sujets brûlants dans les débats politiques (par exemple, Miao & Holmes, [2021](#)). L'apprentissage, l'innovation et la création de connaissances étant souvent présentés comme les fondements de l'économie postindustrielle, cet intérêt croissant est facile à comprendre. Au-delà de l'idée simple, bien que vague et controversée, d'automatiser les tâches des enseignants (Selwyn, [2019](#) ; Sperling et al., [2022](#)), il a également été suggéré que l'effet transformateur de l'IA pourrait consister à *augmenter la cognition humaine* dans l'apprentissage (par exemple, Molenaar, [2022](#) ; Tuomi, [2018](#)).

Au niveau politique, le potentiel de l'IA dans les milieux éducatifs et la nécessité d'une culture de l'IA placent donc les éducateurs au centre de ces nouveaux développements passionnants qui étaient autrefois confinés uniquement dans les laboratoires d'informatique. Dans le même temps, on attend des enseignants et des administrateurs qu'ils aient une vision claire du potentiel de l'IA dans l'éducation et, finalement, qu'ils adoptent cette technologie révolutionnaire dans leur pratique.

La recherche et le développement en matière d'IA pour l'éducation (IAEd) ont été dans une large mesure dirigés par des informaticiens (Chen et al., [2020](#) ; Williamson & Eynon, [2020](#) ; Zawacki-Richter et al., [2019](#)). Au cours de la dernière décennie, la situation a changé, et l'IAEd est désormais également au centre d'intérêts commerciaux. Le marché de l'IAEd devrait connaître une croissance rapide : à l'échelle mondiale, il existe déjà plus de trente sociétés d'IAEd financées à hauteur de plusieurs millions de dollars, et le marché devrait atteindre une valeur de plus de 20 milliards de dollars d'ici cinq ans (GMI, [2022](#)). Un enseignant submergé par les récits sur les miracles de l'IA peut se demander si l'avenir est défini par une énième tentative de faire entrer la technologie dans la salle de classe.

De nombreux systèmes d'IA commerciaux actuellement développés pour l'éducation, appelés *systèmes de tutorat intelligents* (STI), se concentrent sur la fourniture d'un enseignement



automatisé, adaptatif et individualisé, une approche que nous explorons plus en détail ci-dessous. Le lien historique étroit entre l'IA et les sciences cognitives (Gardner, 1985) a fait que de nombreux systèmes d'IA influents dans le domaine de l'éducation ont été construits sur des architectures cognitives, elles-mêmes basées sur l'idée que le cerveau humain est un processeur d'informations. Dans cette optique, l'apprentissage est centré sur le développement de la capacité de résolution de problèmes qui repose sur la disponibilité de structures de connaissances efficaces dans l'esprit humain (par exemple, Koedinger et al., 2012).

Une source historiquement importante pour cette ligne de recherche est un petit livre, *How to Solve It*, publié dans les années 1940 par Georg Polya (1945). Basé sur ses études sur l'apprentissage, le livre présentait différents types d'"heuristiques", des processus ou des raccourcis qui peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes scientifiques et autres. Selon Polya, un processus clé de la résolution de problèmes consiste à trouver des moyens de réduire la distance entre le résultat attendu et les solutions connues qui tendent vers la solution optimale. Ainsi, la résolution de problèmes consiste à trouver des chaînes d'opérations heuristiques (qui peuvent être résumées comme suit : comprendre le problème, faire un plan, exécuter le plan, et regarder en arrière et réfléchir) qui mènent au résultat.

Dans les années 1950, Alain Newell et Herbert Simon, les principaux pionniers de l'IA et des sciences cognitives, ont réalisé qu'en programmant les ordinateurs avec de telles heuristiques et en traitant des symboles au lieu de chiffres, les ordinateurs pouvaient résoudre des problèmes de manière similaire aux humains. Apparemment, il ne s'agissait pas d'un énorme exploit de programmation. Edward Feigenbaum, une autre figure clé de la recherche sur l'IA, s'est rappelé plus tard qu'en 1956, Simon est venu dans sa classe en déclarant : "à Noël, Alain Newell et moi avons inventé une machine à penser" (cité dans McCorduck, 1979, p. 116). Le niveau d'attente est bien exprimé dans le nom qu'ils ont donné à leur programme informatique le plus célèbre de l'époque, *The General Problem Solver* (Newell et al., 1959).

Les origines technologiques de l'IAEd axé sur les élèves remontent toutefois aux travaux de Sidney Pressey, B. F. Skinner, Gordon Pask et Jaime Carbonell (Holmes et al., 2019). La première machine à choix multiples mécanisée a été conçue il y a près de cent ans par Pressey. S'inspirant de la loi de l'effet d'Edward Thorndike, la machine de Pressey donnait un retour d'information immédiat à l'élève et, ce faisant, ces machines " font clairement plus que le tester ; elles enseignent également " (Pressey, 1926, p. 375). Pressey a également suggéré que ce type de technologie pourrait faire gagner du temps aux enseignants en les déchargeant de la notation, une revendication qui est fréquemment faite pour l'IAEd aujourd'hui (par exemple, Baker & Smith, 2019).

Dans les années 1950, Skinner, connu comme le père du béhaviorisme, a mis au point ce qu'il appelait sa " machine à enseigner ", qui demandait aux élèves de composer leurs propres réponses plutôt que de choisir parmi plusieurs options. Skinner soutenait que sa machine agissait comme un tuteur individuel, préfigurant étroitement le STI : "La machine elle-même, bien sûr, n'enseigne pas... mais l'effet sur chaque élève ressemble étonnamment à celui d'un tuteur privé " (Skinner, 1958, p. 971). À peu près à la même époque, Pask a mis au point la première "machine à enseigner" véritablement adaptative, connue sous le nom de "self-adaptive keyboard instructor" ou SAKI pour "instructeur de clavier auto-adaptatif". Conçu pour les apprentis opérateurs de claviers à cartes perforées, le SAKI distribuait les tâches en



fonction de la performance individuelle de l'apprenant sur les tâches précédentes (Pask, 1982). Cependant, la première application explicite des techniques d'IA classiques à l'enseignement assisté par ordinateur a été faite par Carbonell, pour sa thèse de doctorat de 1970. Son système, qu'il a appelé SCHOLAR, générait des réponses individuelles aux énoncés des élèves en s'appuyant sur un réseau de concepts liés en fonction de leurs relations sémantiques.

Cette histoire de l'IA est pertinente pour l'IAEd, car bon nombre des systèmes d'IA axés sur les élèves les plus étudiés et les plus visibles sont des descendants directs de ces idées. Nous en parlerons plus en détail ci-dessous lorsque nous décrirons certains systèmes IAEd exemplaires. Il est également important de reconnaître que, par exemple, l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur est une discipline à part entière depuis le milieu des années 1990 (par exemple, Dillenbourg et al., 2009), et que l'analyse de l'apprentissage et l'exploration des données éducatives (Joksimovic et al., 2020 ; Siemens & Baker, 2012) ont également des liens étroits avec l'IAEd. L'apprentissage en tant que phénomène de développement et socioculturel n'est toutefois devenu que récemment un sujet plus courant dans l'IAEd (par exemple, Thomas & Porayska-Pomsta, 2022).

Au-delà de l'enseignement et de l'apprentissage (c'est-à-dire l'IAEd au service de l'élève), l'IA a des applications potentiellement intéressantes dans l'administration de l'éducation (c'est-à-dire l'IAEd au service du système éducatif) et le soutien aux enseignants (c'est-à-dire l'IAEd au service de l'enseignant), et pourrait même stimuler de nouvelles approches pédagogiques et andragogiques. Entre-temps, les données éducatives, telles que générées par les systèmes d'apprentissage en ligne, y compris l'IAEd, font de plus en plus l'objet d'analyses dans un domaine en pleine expansion, connu sous le nom d'*exploration de données éducatives* et d'*analyse des traces d'apprentissage (en anglais learning analytics)*, et deviennent importantes tant pour la politique que pour la pratique (Hakimi et al., 2021 ; Verbert et al., 2020).

Pour les éducateurs, il est également utile de réfléchir à ces multiples connexions dans le contexte plus large de l'éducation. Dans une grande partie de la recherche et du développement actuels de l'IAEd au service des élèves, la justification ultime de l'utilisation de l'IA est qu'elle peut entraîner des gains d'apprentissage dans des domaines de connaissances spécifiques, indépendamment des enseignants humains. Un "gain d'apprentissage" est généralement mesuré dans les expériences de pré-test et de post-test sous la forme d'un pourcentage d'amélioration possible pour un élève, compte tenu de son niveau de connaissances avant l'étude. Lorsque l'objectif de l'enseignement est supposé être l'acquisition d'un contenu de connaissances prédéfini qui peut être évalué à l'aide d'un test, le gain d'apprentissage est un indicateur naturel de réussite - ce qui explique peut-être pourquoi il est au centre des systèmes adaptatifs IAEd les plus connus. En fait, certains STI influents, tels que le système ASSIST, ont commencé explicitement en tant que système de préparation à des tests à enjeux élevés (Heffernan & Heffernan, 2014) ; et de nombreux systèmes IAEd chinois largement utilisés sont également axés sur l'enseignement pour le test (Knox, 2020).

L'acquisition de contenus de connaissances prédéfinis est une des fonctions de l'éducation. Biesta appelle cela la fonction de *qualification* : fournir aux élèves " *les connaissances, les compétences et les compréhensions... qui leur permettent de "faire quelque chose"* " (Biesta, 2011, p. 19). Les deux autres fonctions clés de l'éducation, selon Biesta, sont la *socialisation*, qui " *a à voir avec les nombreuses façons dont, par l'éducation, nous devenons partie intégrante d'"ordres" sociaux, culturels et politiques particuliers*" (Biesta, 2011, p. 20), et la *subjectivation*



ou l'*individuation*, le processus "qui permet aux personnes éduquées de devenir plus autonomes et indépendantes dans leur façon de penser et d'agir" (Biesta, 2011, p. 21). Ces deux dernières fonctions ont reçu comparativement peu d'attention de la part des chercheurs IAEd.

Au lieu de cela, au cours des trois dernières décennies, un point de départ conceptuel clé pour l'IAEd axé sur l'élève a été "l'apprentissage par la maîtrise", un modèle pédagogique proposé par Benjamin Bloom (Bloom, 1968 ; cf. Guskey, 2012). Ce modèle sous-tend la plupart des STI, ainsi que la notion selon laquelle l'IA peut "personnaliser" l'apprentissage. L'objectif de l'apprentissage par la maîtrise est d'amener tous les élèves à un niveau de compétence qui leur permette de progresser efficacement, en suivant le parcours d'apprentissage décrit dans le programme. Bloom a fait valoir que, comme les élèves commencent avec des connaissances antérieures différentes et ont des capacités différentes, ils ont besoin de quantités différentes d'enseignement pour atteindre le même niveau de maîtrise dans un sujet donné. Ainsi, l'apprentissage de la maîtrise nécessite une différenciation au niveau individuel ou une "personnalisation" de l'enseignement, pour laquelle les systèmes IAEd ont été proposés et conçus comme une réponse.

Bloom a ensuite montré que le tutorat individualisé associé à l'apprentissage par la maîtrise permettait d'obtenir des gains d'apprentissage supérieurs de deux écarts-types à ceux de l'enseignement traditionnel en classe entière (Bloom, 1984). Cette énorme amélioration potentielle, connue sous le nom d'*effet 2-sigma*, a été une inspiration clé pour les chercheurs IAEd pendant plus de quarante ans. Dans des recherches IAEd plus récentes, l'impact du tutorat humain s'est avéré être inférieur à un écart-type, ce que la recherche suggère également avoir déjà été atteint par certains STI (VanLehn, 2011). Néanmoins, l'effet 2-sigma fournit également un modèle implicite rarement contesté de la fonction de l'éducation parmi les chercheurs IAEd, qui ignore les fonctions de socialisation et d'individuation de Biesta.

Même lorsque les mesures de l'impact des outils d'IAEd tels que les STI se limitent à des gains d'apprentissage orientés vers les tests, il subsiste une grande controverse. De nombreuses études ont montré des gains d'apprentissage lorsque des STI ont été utilisés en classe (cf. du Boulay, 2019), mais les résultats ne sont pas univoques. Il n'existe que de rares exemples d'évaluations indépendantes à l'échelle (par exemple, Roschelle et al., 2016), tandis que les examens au niveau méta (par exemple, Kulik et Fletcher, 2016 ; Ma et al., 2014) montrent des impacts modestes sur les gains d'apprentissage dans de nombreux contextes relativement petits. Des études plus granulaires suggèrent toutefois que les effets des interventions d'apprentissage fournies par un système dépendent du niveau de connaissance préalable de l'élève (alors que les apprenants novices bénéficient d'exemples travaillés, les apprenants plus expérimentés bénéficient de la résolution de problèmes sans exemples travaillés - ce qu'on appelle "l'*effet d'inversion de l'expertise*" ; Koedinger et al., 2012, p. 788). L'agrégation au niveau de la classe est donc susceptible de fausser les méta-analyses existantes. **À proprement parler, nous ne savons pas avec certitude si IAEd "fonctionne" ou non. Plus important encore, nous ne savons pas exactement en quoi consisterait cette "efficacité".**

En fait, les études d'impact explorent généralement ce qui se passe lorsqu'une nouvelle idée pédagogique ou une nouvelle fonctionnalité est ajoutée à un système IAEd existant. Par exemple, le What Works Clearinghouse, géré par l'Institute of Educational Sciences du ministère de l'Éducation des États-Unis, ne prend en compte que les preuves issues d'essais contrôlés randomisés ou d'essais quasi-expérimentaux de "haute qualité". En conséquence,



contrairement à de nombreux petits essais qui ont montré des gains d'apprentissage modérés, les rapports de What Works Clearinghouse montrent souvent des gains d'apprentissage moyens plutôt mineurs ou indéterminés au niveau du groupe (par exemple, What Works Clearinghouse, 2016, qui a signalé que Cognitive Tutor, l'un des STI les plus connus, avait des effets mitigés pour les élèves en algèbre, aucun effet discernable sur les mathématiques générales et des effets potentiellement négatifs sur la géométrie). En d'autres termes, les preuves indépendantes robustes (selon la norme attendue, par exemple, dans la recherche médicale) restent insaisissables dans la recherche sur l'IAEd. Les résultats ambigus, les défis méthodologiques et pratiques, le manque d'indépendance et d'échelle, ainsi que des questions plus fondamentales sur les objectifs de l'éducation, ont laissé beaucoup d'espace pour contester toute affirmation générique sur les avantages de l'IAEd axé sur les élèves.

Pourtant, de grandes attentes subsistent quant à l'impact futur de l'IAEd. Par exemple, selon l'un des principaux entrepreneurs de l'IA, Kai-Fu Lee (ancien cadre supérieur chez Google, Microsoft, SGI et Apple) :

[...] une salle de classe aujourd'hui ressemble encore à une salle de classe d'il y a cent ans. Nous connaissons les défauts de l'éducation d'aujourd'hui - elle est unique alors que nous savons que chaque élève est différent, et elle est coûteuse et ne peut être adaptée aux pays et régions plus pauvres avec un ratio élève/enseignant raisonnable. L'IA peut jouer un rôle majeur dans la correction de ces défauts et la transformation de l'éducation [...] Si l'IA prend en charge des aspects importants de l'éducation, les coûts de base seront réduits, ce qui permettra à davantage de personnes d'accéder à l'éducation. Elle peut véritablement rendre l'éducation plus équitable en libérant le contenu des cours et les meilleurs enseignants des limites des **institutions d'élite et en fournissant des enseignants virtuels utilisant de l'IA dont le coût marginal est proche de zéro.** (...) Je pense que ce nouveau modèle d'éducation symbiotique et flexible peut améliorer considérablement l'accessibilité de l'éducation et aider chaque élève à réaliser son potentiel à l'ère de l'IA. (Lee & Qiu, 2021, p. 118)

Historiquement, l'émergence de nouvelles technologies clés a donné lieu à des attentes exagérées et trop optimistes, à des krachs économiques ultérieurs et à l'articulation progressive des possibilités technologiques sur des périodes de temps relativement longues (Nemorin et al., 2022 ; Perez, 2002). En effet, toutes les visions de l'avenir sont fondées sur notre compréhension de l'histoire. L'IAEd a une longue histoire. Pour comprendre où elle va, il faut comprendre d'où elle vient. La section suivante revient sur les tentatives de définition du sujet de l'IA et décrit brièvement l'état de l'art dans les deux domaines connexes que sont (1) l'IA basée sur les données et (2) l'IA basée sur les connaissances. Ensuite, la troisième section de cet article propose une taxonomie de l'IAEd qui distingue l'IAEd axée sur l'élève, l'enseignant et l'institution, en donnant des exemples de l'état de l'art de l'IAEd pour chacun **de ces différentes familles d'utilisation. La quatrième section présente un certain nombre d'obstacles potentiels sur l'autoroute de l'IAEd, notamment les défis liés aux droits de l'homme, à l'éthique, à la personnalisation, à l'impact, au techno-solutionnisme, au colonialisme de l'IAEd et à la commercialisation de l'éducation. La dernière section résume et examine les futurs possibles de l'IAEd.**



2. QU'EST-CE QUE L'IA ?

De nombreuses tentatives ont été faites pour définir et décrire clairement ce dont il est question lorsque nous parlons d'*Intelligence Artificielle* (IA), un nom que nous mettons en majuscule pour souligner qu'il s'agit d'un domaine de recherche et de développement spécifique, et pas simplement d'un *type* d'intelligence artificielle. La littérature fournit de nombreuses définitions alternatives et il est souvent affirmé qu'il n'existe pas de définition dominante unique acceptée par la plupart des experts en IA. Il est toutefois important de noter que les définitions utiles et utilisables de l'IA dépendent de l'usage qui en est fait. Les chercheurs universitaires affirment souvent que l'IA est un domaine de recherche complexe qui comprend de nombreuses approches conceptuelles et domaines d'expertise différents, et soulignent parfois que l'intelligence artificielle n'*existe* pas.

La réglementation européenne, en revanche, se concentre sur les produits d'IA qui doivent avoir accès au marché commun. Pendant ce temps, une grande partie du débat sur l'IA porte sur des futurs hypothétiques, inspirés par la science-fiction et la croyance que les machines pourraient un jour être *intelligentes - quoi que cela signifie*. Une définition classique précise que l'IA est un domaine de recherche qui développe des technologies capables de faire des choses qui exigeraient de l'intelligence si elles étaient faites par des humains (Minsky, 1969). **Cette approche trouve son origine chez Turing, ayant proposé que si une simulation d'être humain intelligent ne peut être distinguée d'une personne réelle, les questions relatives à l'intelligence deviennent sans objet** (Turing, 1950). De nombreux spécialistes des sciences cognitives et certains chercheurs et philosophes spécialisés dans l'IA ont adopté un point de vue plus ferme, affirmant que la recherche sur l'IA peut révéler comment fonctionne l'esprit humain (Gardner, 1985).

Les responsables politiques, quant à eux, se sont concentrés sur les *systèmes d'IA* économiquement perturbateurs qui peuvent être réglementés, certifiés et mis sur le marché. L'OCDE a fourni une définition influente dans ce sens (OCDE, 2019a, p. 7). Celle-ci a été étendue par le groupe d'experts de haut niveau de l'UE sur l'intelligence artificielle (AI HLEG) d'une manière conceptuellement importante, en mettant en évidence leur capacité à apprendre, en notant que les systèmes d'IA peuvent également adapter leur comportement en fonction des résultats de leurs actions (AI HLEG, 2019a). Cette définition du AI HLEG, qui englobe à la fois la recherche sur l'IA et les systèmes d'IA, est elle-même accompagnée de plusieurs pages de commentaires explicatifs.

Une définition plus simple (pour ceux d'entre nous qui ne sont ni informaticiens ni experts juridiques), qui s'appuie sur les définitions de l'OCDE et de l'AI HLEG, est fournie par l'UNICEF.

"L'IA désigne les systèmes basés sur des machines qui peuvent, à partir d'un ensemble d'objectifs définis par l'homme, faire des prédictions, des recommandations ou des décisions qui influencent des environnements réels ou virtuels. Les systèmes d'IA interagissent avec nous et agissent sur notre environnement, soit directement, soit indirectement. Souvent, ils semblent fonctionner de manière autonome et peuvent adapter leur comportement en apprenant sur le contexte." (UNICEF, 2021, p. 16)

La définition de l'UNICEF est utile pour plusieurs raisons (Holmes & Porayska-Pomsta, 2023). Premièrement, elle ne dépend pas des données : elle prend en compte les techniques d'IA



axées sur les données (comme les réseaux de neurones artificiels et l'apprentissage profond), mais elle peut également inclure l'IA basée sur les connaissances (ou IA symbolique), ainsi que tout nouveau paradigme d'IA qui pourrait émerger dans les années à venir. Deuxièmement, elle met en avant le rôle des humains, ce qui est important étant donné le rôle critique des humains à toutes les étapes du développement de l'IA. Par exemple, les systèmes d'IA font toujours leurs *recommandations*, *leurs prédictions* et *leurs décisions* en fonction d'objectifs qui sont spécifiés par le concepteur du système au moment où celui-ci est développé. En fait, comme la plupart des systèmes d'IA actuels sont essentiellement des systèmes comportementaux de type stimulus-réponse, il a également été suggéré que l'IA devrait plutôt désigner les *instincts artificiels* (Tuomi, [2018](#)). Troisièmement, la définition de l'UNICEF fait la distinction entre les systèmes qui fonctionnent effectivement de manière autonome et ceux qui *semblent* fonctionner de manière autonome, ce qui nous rappelle le *Mechanical Turk* original qui a trompé beaucoup de gens en leur faisant croire qu'il était véritablement automatique (Schaffer, [1999](#)). Enfin, comme cette définition met l'accent sur l'interaction avec les humains, elle peut facilement être étendue à l'application de l'IA dans l'éducation.

Le règlement sur l'IA proposé par la Commission européenne (AI Act ; CE, [2021](#)) s'appuie sur la définition d'un système d'IA élaborée par l'OCDE, mais se contente d'énumérer les technologies qui caractérisent les systèmes d'IA. L'objectif de la loi sur l'IA étant de réglementer les produits et des services, il est important de savoir quels produits et services entrent dans le champ d'application de la réglementation. C'est pourquoi la définition finale à utiliser dans la loi sur l'IA fait l'objet, au moment de la rédaction du présent document, d'un débat animé entre le Conseil de l'Union européenne, le Parlement et d'autres parties prenantes. Les définitions juridiques seront également importantes dans le domaine de l'éducation, et en particulier dans l'éducation publique où la pratique quotidienne est fortement réglementée par les textes réglementaires existants. Au-delà des définitions juridiques, la réalité des systèmes d'IA comprend toutefois de nombreuses techniques, technologies et spécialités différentes (Miao & Holmes, [2021](#)). Dans de nombreux cas, les experts trouvent suffisamment de ressemblance familiale et peuvent s'accorder sur le fait qu'un système donné est de l'IA ou non, mais les définitions ont évolué au fil du temps et continueront probablement à le faire.

Pour les éducateurs, il est toutefois important de distinguer deux approches alternatives pour le développement de systèmes d'IA, qui ont toutes deux été en développement et se sont disputées l'ascendant tout au long de l'histoire de l'IA (en commençant par le célèbre atelier du Dartmouth College en 1956, où le terme "intelligence artificielle" a été utilisé pour la première fois). L'une des approches, celle qui a actuellement le vent en poupe et qui est à l'origine d'un grand nombre des succès fréquemment mentionnés dans la presse, peut être appelée IA basée sur les données, ou apprentissage automatique (machine learning en anglais). L'autre est l'IA basée sur les connaissances ou l'IA symbolique. L'IA guidée par les données pourrait avoir un grand potentiel dans l'éducation, selon les intentions du système, mais l'IA basée sur la connaissance est toujours à la base de la plupart des systèmes IAEd existants. Un troisième modèle conceptuel, l'IA hybride, qui combine les approches basées sur les données et les connaissances avec la cognition humaine, est brièvement abordé dans la conclusion.



2.1 L'IA basée sur les données

L'IA basée sur les données a produit des résultats impressionnants au cours de la dernière décennie dans les domaines de la vision par ordinateur, du traitement du langage naturel, de la robotique et dans bien d'autres domaines largement médiatisés. Tous ces systèmes reposent sur une idée très simple. À partir d'un ensemble suffisamment large de données et d'un critère d'"amélioration", un ordinateur peut progressivement trouver un modèle qui optimise ses prédictions. Lorsqu'un programme informatique aboutit à une prédiction erronée dans sa phase d'apprentissage, le programme ajuste son comportement de manière à ce que l'erreur devienne plus petite ; et lorsque le programme fait la bonne prédiction, il s'adapte de manière à faire la même prédiction avec une plus grande probabilité de succès.

Un défi technique fondamental consiste à savoir comment le système doit ajuster son comportement. Les systèmes d'IA basés sur les données résolvent ce problème en utilisant des calculs de base. Il est possible de calculer dans quelle mesure la sortie du système changerait si l'un des paramètres du système était modifié de manière incrémentielle. Pour chaque paramètre du système, la direction du changement maximal est appelée gradient. Avec de très nombreux petits pas, les paramètres du système peuvent être ajustés de manière à ce que le système fasse des prédictions "suffisantes". Les systèmes d'IA les plus avancés peuvent avoir un grand nombre de paramètres qui sont ajustés de manière répétée jusqu'à ce que le système fonctionne de façon acceptable et utile. Par exemple, le célèbre modèle de langage GPT-3 d'OpenAI compte 175 milliards de paramètres ajustables (Brown et al., [2020](#)).

Le cerveau humain a été une source d'inspiration essentielle pour le développement de systèmes informatiques auto-apprenants (Rosenblatt, [1958](#)). Les "réseaux neuronaux artificiels" sont constitués de "neurones informatiques" simples qui transforment leurs états d'entrée en sorties qui, à leur tour, sont des entrées pour d'autres neurones artificiels. Les réseaux neuronaux artificiels modernes sont constitués de nombreuses couches reliées entre elles, chacune comportant de multiples connexions logiques d'une couche à l'autre. Bien que l'idée d'utiliser des éléments neuronaux adaptatifs pour la reconnaissance des formes soit ancienne, un défi pratique pour les premiers développeurs était de trouver un moyen d'ajuster leur comportement afin d'améliorer les prédictions faites par le système. Depuis les années 1970, on sait que la règle de la chaîne du calcul élémentaire peut être utilisée à cette fin. Même un réseau complexe interconnecté de neurones informatiques adaptatifs n'est qu'une correspondance entre les entrées et les sorties. En termes mathématiques, il s'agit simplement d'une fonction. Les dérivés et les gradients des paramètres de ses différentes couches peuvent donc être calculés à l'aide de la règle de la chaîne de calcul qui les exprime en termes de sortie finale du système.

Tous les systèmes d'IA basés sur les données fonctionnent donc de la manière suivante. Tout d'abord, le système reçoit des données d'entrée puis est autorisé à faire une prédiction. L'erreur de prédiction est utilisée pour calculer une "perte" que le système tente de minimiser pendant sa phase d'apprentissage en adaptant les valeurs de ses paramètres. Ce processus est répété des millions de fois, jusqu'à ce que la précision du système soit suffisante. Ce processus est appelé "apprentissage" ou "entraînement" du modèle d'IA. Lorsque le système possède suffisamment de paramètres, il peut s'adapter à n'importe quelle fonction mathématique et, à partir d'une entrée spécifique, prédire parfaitement la sortie correcte. Toutefois, une correspondance aussi parfaite, entre des entrées et des sorties connues, rendrait le système



tout à fait inutile, car l'objectif est de créer des prédictions précises pour des entrées qui n'ont pas été utilisées lors de la formation. Pour ce faire, on "teste" la précision du système avec des données de test indépendantes. Lorsque le système fait également de bonnes prédictions avec les données de test, on dit qu'il a bien "généralisé". À ce stade, on dit que les développeurs ont entraîné un modèle, qui peut alors être utilisé pour le travail en situation.

De nombreux systèmes d'IA fondés sur les données et très performants sont constitués de dizaines de couches ou plus, chacune comportant des millions de connexions entre leurs "neurones" informatiques. Le processus d'adaptation simple décrit ci-dessus est donc appelé "apprentissage profond", et le calcul des gradients de la couche de sortie finale vers le niveau d'entrée est appelé "rétropropagation". Un résultat fascinant de cette adaptation est que les niveaux "inférieurs" qui sont proches de l'entrée des données apprennent souvent à reconnaître des caractéristiques simples statistiquement significatives, et que les couches de niveau "supérieur" construisent des abstractions plus complexes. Par exemple, dans le traitement des images, les "neurones" de niveau inférieur reconnaissent des caractéristiques d'image simples telles que les lignes, les bords et les courbes, tandis que les niveaux supérieurs détectent des caractéristiques plus complexes construites à partir de celles-ci, telles que les coins et les cercles. À des niveaux encore plus élevés de la chaîne de traitement, des caractéristiques telles que des yeux, des oreilles, des poils et des ailes sont détectées si elles sont présentes dans les images utilisées pour l'apprentissage du système. Ces modèles d'apprentissage profond peuvent, avec une probabilité très élevée, reconnaître des objets dans des images numériques et peuvent également être utilisés, par exemple, pour générer des légendes automatiques de flux vidéo, détecter des visages humains ou, moyennant une certaine reconfiguration, jouer aux échecs, générer des peintures dans le style de Picasso, réaliser de fausses vidéos et rédiger des essais sur la base d'indications données par l'utilisateur (NdT : comme le propose en décembre 2022 le Chat GPT3 d'Open AI). Il est toutefois important de réaffirmer le rôle de l'homme dans ce processus. Ce sont les humains qui collectent ou conservent les données (par exemple, les images ou les textes) et les humains qui écrivent les algorithmes et décident de leur utilisation. Plus important encore, les humains définissent le critère de "prédiction précise" et sélectionnent les algorithmes qui leur semblent les plus prometteurs. En outre, bien qu'il y ait eu de nombreux débats sur les dangers de prendre des décisions algorithmiques sans un humain " dans la boucle " (AI HLEG, [2019b](#) ; Dignum, [2018](#) ; Floridi et al., [2018](#)), au final, ce sont les humains qui interprètent les résultats et ce qu'ils signifient.

L'IA axée sur les données a connu des avancées extraordinaires au cours de la dernière décennie en raison de trois facteurs clés (Tuomi, [2018](#)).

Premièrement, l'ajustement progressif des nombreux paramètres de ces systèmes nécessite souvent des trillions d'additions et de multiplications. Par exemple, l'apprentissage du modèle de langage GPT-3 a nécessité l'équivalent de plus de 1000 jours de calcul à une capacité de traitement d'un pétaflop (10^{15}) par seconde (Brown et al., [2020](#)). Les processeurs informatiques normaux ne sont pas adaptés à cette tâche, mais les processeurs graphiques relativement bon marché développés pour les jeux vidéo au cours des deux dernières décennies se sont avérés parfaitement adaptés à cette tâche. De nouvelles architectures de processeurs sont également apparues ces dernières années, qui optimisent encore davantage les calculs nécessaires à l'IA basée sur les données.



Deuxièmement, l'apprentissage de l'IA basée sur les données nécessite d'énormes quantités de données. Celles-ci sont devenues disponibles du fait de l'utilisation croissante du web pour les images, les vidéos et les textes, et du fait que les utilisateurs génèrent continuellement une avalanche de données de clics. Par exemple, pour développer le modèle GPT-3, environ 400 milliards de mots ont été collectés sur le web.

Troisièmement, en particulier dans le traitement de l'image, où l'IA guidée par les données a connu son premier grand succès il y a une dizaine d'années, les progrès de l'IA guidée par les données ont nécessité un effort humain massif pour étiqueter les images trouvées sur le Web. L'ensemble de données ImageNet, qui a été utilisé pour former de nombreux systèmes d'IA révolutionnaires, a été créé par environ 49 000 personnes de 167 pays travaillant sur la plateforme de partage de tâches Mechanical Turk d'Amazon (Denton et al., 2021). Cela n'aurait pas été possible sans la collaboration de milliers de personnes à travers le monde grâce à l'Internet. **Toutefois, cette collecte de données à grande échelle sur l'Internet n'est pas sans poser de problèmes.** Par exemple, pour mettre au point leur technologie révolutionnaire de reconnaissance faciale *DeepFace*, les ingénieurs de Facebook ont utilisé, sans consentement explicite, quatre millions de photographies de personnes qui avaient été téléchargées et étiquetées par des utilisateurs de Facebook. Conscient de l'éthique douteuse d'une telle pratique, Facebook a annoncé en 2021 qu'il allait supprimer la base de données des photographies collectées. Cependant, les algorithmes qui ont été formés avec cette base de données sont toujours utilisés (Sparkes, 2021).

Il a été noté qu'en raison de sa méthode d'apprentissage par essais et erreurs, l'IA axée sur les données est en fait basée sur la façon la plus inefficace d'effectuer des calculs inventée par l'humanité (Tuomi, 2020). Avec d'énormes quantités de données d'apprentissage et de nombreux paramètres à ajuster, les exigences de calcul peuvent devenir écrasantes. Pour cette raison, même les plus grandes entreprises d'IA ont aujourd'hui du mal à trouver une puissance de calcul suffisante pour entraîner leurs modèles d'IA. Les modèles de langage naturel basés sur des données de pointe sont désormais entraînés à l'aide de milliards de milliards de calculs et de centaines de milliards de mots extraits d'Internet. On estime que l'entraînement du modèle GPT-3 d'OpenAI a nécessité autant d'énergie que le voyage aller-retour d'une voiture sur la lune, générant ainsi l'équivalent de 85 000 kg d'émissions de CO₂ (Quach, 2020). Il est désormais largement admis que la consommation d'énergie constitue un défi majeur pour l'IA axée sur les données (Strubell et al., 2019). Le cerveau humain, quant à lui, fonctionne avec environ 20 watts d'énergie, ce qui suggère que l'IA pilotée par les données repose sur des principes différents de ceux de l'intelligence humaine (Tuomi, 2020).

En pratique, l'impasse informatique de l'IA axée sur les données est pour l'instant évitée par la réutilisation de modèles déjà développés. Dans de nombreux cas, il est possible de se débarrasser des couches les plus élevées d'un modèle d'apprentissage profond optimisé pour une tâche antérieure et de réentraîner le modèle pour la tâche en cours. Les chercheurs en IA appellent cela "apprentissage par transfert". Si, par exemple, un système a appris à reconnaître des chiens, des chats, des voitures, des oiseaux et des bicyclettes, ses représentations de bas niveau sont souvent utiles pour d'autres tâches de traitement d'images, par exemple la reconnaissance de visages ou l'analyse d'images satellites. Aujourd'hui, la grande majorité des systèmes d'IA sont probablement développés selon cette approche, en s'appuyant sur des modèles ouvertement accessibles provenant des principaux développeurs d'IA, tels que Facebook, Google, iFLYTEK, Microsoft, OpenAI et Tencent.



Enfin, si les succès de l'IA basée sur les données ont été impressionnants, il reste important de ne pas se laisser abuser par les hyperboles courantes. Comme le note Leetaru (2018) :

"Un réseau neuronal d'aujourd'hui n'apprend pas plus ou ne "raisonne" pas plus sur le monde qu'une régression linéaire du passé. Ils ne font qu'induire des modèles par le biais de statistiques. Ces schémas peuvent être opaques, plus médiatisés et plus automatiques que les approches historiques et capables de représenter des phénomènes statistiques plus complexes, mais ils ne sont toujours que des incarnations mathématiques, pas des entités intelligentes, aussi spectaculaires que soient leurs résultats." (Leetaru, 2018, paragraphe 8)

2.2 L'IA basée sur la connaissance

En raison de ses succès spectaculaires, l'IA basée sur les données a dominé les informations parues dans la presse ces dernières années. Dans le domaine de l'éducation, cependant, l'IA basée sur les connaissances continue de jouer un rôle central. Les systèmes basés sur la connaissance reposent sur l'idée que les connaissances et l'expertise humaines peuvent être représentées sous une forme qui peut être traitée par des programmes informatiques. Certains de ces systèmes ont également été appelés *systèmes experts* car ils ont souvent été utilisés pour imiter la prise de décision des experts. Les systèmes experts étaient courants dans les années 1980, mais le coût élevé de la modélisation des domaines d'expertise et du maintien des représentations des connaissances, ainsi que la difficulté de généraliser et de transférer les modèles de domaine à de nouveaux domaines d'application, ont limité la popularité de cette approche (Tuomi, 2018). Dans les applications éducatives de l'IA, de nombreux systèmes contiennent un *modèle de domaine* qui décrit une structure conceptuelle du domaine d'étude. Dans le monde réel, de tels modèles de domaine sont souvent difficiles et coûteux à définir, car le monde est ouvert et changeant. Dans les mondes formels fermés, comme les mathématiques, il est plus facile de développer des modèles de domaine stables. C'est l'une des raisons pour lesquelles les *systèmes de tutorat intelligents* basés sur la connaissance ont connu un succès relatif en mathématiques et en physique.

L'"intelligence" de l'IA basée sur la connaissance réside dans les structures conceptuelles produites à partir des connaissances des experts humains. Dans les systèmes basés sur la connaissance, un ordinateur est donc utilisé d'une manière différente que lorsqu'il est utilisé comme une simple machine de calcul programmé ou de traitement de texte. Au lieu d'utiliser un algorithme étape par étape qui calcule un résultat à partir de données d'entrée, les systèmes basés sur la connaissance utilisent un *moteur d'inférence* simple mais générique qui sélectionne des règles *heuristiques* stockées qui indiquent à la machine ce qu'elle doit faire ensuite. Les règles, elles-mêmes, sont des descriptions de plus haut niveau de ce qui est *connu* du domaine en question. Ce niveau supplémentaire d'abstraction et de représentation des connaissances est ce qui différencie les systèmes basés sur la connaissance de la programmation informatique traditionnelle. En général, les règles sont décrites dans des **phrases "si...alors" lisibles par l'homme**. C'est pourquoi l'IA basée sur la connaissance est aussi parfois appelée "IA basée sur des règles". Jusqu'à récemment, presque tous les systèmes d'IA dans l'éducation étaient basés sur cette approche. Plusieurs de ces systèmes sont brièvement décrits ci-dessous. Les systèmes basés sur la connaissance restent cependant des systèmes purement mécaniques, où une entrée spécifique produit toujours une sortie spécifique dans un processus déterministe de calcul algorithmique. Une conséquence importante de cette



approche - contrairement à l'IA basée sur les données - est que le comportement du système peut être expliqué en élève la logique programmée.

3. UNE TAXONOMIE DE L'IAEd

L'IA est appliquée à l'éducation (IAEd) de multiples façons. Par conséquent, il n'est pas possible de tirer des conclusions globales ou, par exemple, de faire de grandes déclarations sur l'efficacité ou non de l'IAEd. Au lieu de cela, pour faciliter un débat significatif, nous devons être clairs sur les multiples variations des applications de l'IAEd dont nous discutons, d'autant plus que beaucoup d'entre elles restent spéculatives et que certaines sont discutables pour des raisons éthiques, pédagogiques ou éducatives. À cette fin, il est utile de classer les outils et les applications de l'IAEd dans une typologie de trois catégories distinctes mais qui se chevauchent : (1) l'IAEd au service de l'élève, (2) l'IAEd au service de l'enseignant et (3) l'IAEd au service de l'institution (Holmes et al., 2019). Il ne fait aucun doute que ces catégories peuvent être discutées, tout comme la catégorie qui s'applique à tel ou tel outil IAEd, mais elles fournissent un cadre utile pour faciliter la discussion.

Dans le tableau 1, nous présentons une vue d'ensemble de la taxonomie de l'IAEd, dans laquelle nous identifions les applications de l'IAEd comme étant soit *spéculatives* (*), soit *étudiées* (**), soit déjà *disponibles sur le marché* (***) .

TABLEAU 1. Une taxonomie des systèmes IAEd *Source* : Auteurs

IAEd au service des élèves	
Systèmes de tutorat intelligents (ITS)	***
Applications assistées par l'IA (par exemple, mathématiques, synthèse vocale, apprentissage des langues)	***
Simulations assistées par l'IA (par exemple, apprentissage par le jeu, Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée)	***
IA pour aider les apprenants à besoins particuliers	***
Rédaction automatique d'essais	***
Agents conversationnels	*** / * *
Évaluation formative automatique	*** / * *



Orchestrations de réseaux d'apprentissage	* * * / * *
Systèmes de tutorat basés sur le dialogue	* * *
Environnements d'apprentissage exploratoire	* *
Assistant d'apprentissage tout au long de la vie assisté par l'IA	*
IAEd au service de l'enseignant	
Détection de plagiat	* * *
Curation intelligente du matériel d'apprentissage	* * *
Surveillance de la classe	* * *
Évaluation sommative automatique	* * * / * *
IA d'assistance de l'enseignant (y compris assistant d'évaluation)	* * * / *
Orchestration de la salle de classe	* *
IAEd au service des institutions	
Admissions (par exemple, sélection des élèves)	* * *
Planification des cours, Planification des horaires, Programmation horaire	* * *
Sécurité des écoles	* * *
Identification précoce des <i>décrocheurs</i> et les <i>élèves à risque</i>	* * *
e-Proctoring (surveillance des examens à distance)	* * *



Dans la section suivante, nous fournissons un bref résumé de chaque type d'application IAEd, prolongeant la discussion plus détaillée dans Holmes et al. (2019).

3.1 IAEd au service des élèves

Avant d'explorer les différents types de IAEd axés sur les élèves, c'est-à-dire les outils assistés par l'IA spécifiquement conçus pour aider les élèves, une brève digression est nécessaire. Il est important de noter que toutes les technologies assistées par l'IA utilisées *par les* élèves n'ont pas été conçues *pour* eux. On pourrait plutôt dire que ces technologies ont été " réadaptées " à l'apprentissage. Ces technologies ne sont généralement pas considérées comme de l'IAEd, mais doivent néanmoins être prises en compte dans toute synthèse exhaustive de l'IAEd au service des élèves. Un exemple de la technologie assistée par l'IA la plus sophistiquée qui a été réaffectée à l'éducation est la suite d'outils de collaboration Google Workspace Education qui comprend Google Docs et Google Sheets (Google, 2022), ainsi que des offres similaires d'organisations telles que Tencent (Tencent, 2022) (*NdT : ou encore de celle de Microsoft Office 365 pour l'éducation*). À cela s'ajoutent les plateformes de réseaux sociaux telles que WhatsApp (WhatsApp, 2022) et WeChat (WeChat, 2022), et les plateformes de partage de contenu telles que YouTube (YouTube, 2022) et TikTok (TikTok, 2022), qui sont toutes, de différentes manières, de plus en plus utilisées pour soutenir l'apprentissage des élèves (une croissance qui s'est accélérée pendant les fermetures d'écoles du COVID-19). Enfin, diverses autres technologies assistées par l'IA sont réorientées vers l'éducation, par exemple les dispositifs de suivi d'activité (par exemple, Moki, 2022), bien que les preuves de leur soutien à l'enseignement ou à l'apprentissage soient généralement limitées.

Nous poursuivons en élaborant les IAEd au service des élèves suivants : systèmes de tutorat intelligents, applications assistées par l'IA, simulations assistées par l'IA, IA pour aider les apprenants à besoins spécifiques (handicap), rédaction automatique de dissertations, chatbots, évaluation formative automatique, orchestrateurs de réseaux d'apprentissage, systèmes de tutorat basés sur le dialogue, environnements d'apprentissage exploratoires et assistants d'apprentissage tout au long de la vie assistés par l'IA.

NdT : les outils de traduction automatiques, bien que non évoqués dans cet article font également partie de cette catégorie.

3.1.1 Systèmes de tutorat intelligents (STI)

Les systèmes de tutorat intelligents (STI ou ITS en anglais pour Intelligent Tutoring System) disponibles dans le commerce sont les applications les plus courantes de l'IA dans l'éducation, et probablement les plus financées. En général, ils fournissent des tutoriels informatisés, étape par étape, sur des sujets structurés bien définis, comme les mathématiques. Un STI fournit une séquence d'informations, d'activités et de questionnaires adaptée à chaque élève. Pendant que l'élève participe à une activité particulière, le système récupère des milliers de points de données, comme ce qui est cliqué, ce qui est tapé, les tâches auxquelles il a répondu correctement et les idées fausses qui ont été démontrées. Ces données sont analysées pour déterminer les informations, les activités et les quiz suivants à fournir, générant ainsi un *parcours personnalisé* dans la matière à apprendre, et le processus se répète. Les STI comprennent parfois des tableaux de bord pour les enseignants, qui peuvent ainsi voir ce que l'élève a accompli. Un exemple de STI commercial (il en existe plusieurs) est Spark, de la société



française Domoscio. Spark individualise les parcours d'apprentissage et fournit aux enseignants un tableau de bord d'analyse de l'apprentissage (Domoscio, [2022](#)). Un autre exemple est le Gooru Navigator, qui prétend être le *Google Maps de l'apprentissage* (Songer et al., [2020](#)). Gooru utilise abondamment les technologies d'IA basées sur les données sur sa plateforme, par exemple pour analyser les sujets couverts par les ressources éducatives libres et les mettre en correspondance avec les profils individuels des apprenants et leurs besoins en compétences. À l'heure actuelle, Gooru affirme héberger environ quatre millions de ressources d'apprentissage sélectionnées par l'IA. Certains STI incluent également ce que l'on appelle un *modèle d'apprentissage ouvert*, conçu pour permettre à l'élève de visualiser et de mieux comprendre ce qu'il a réalisé (Bull & Kay, [2010](#)).

3.1.2 Applications assistées par l'IA

Il existe une gamme en pleine expansion d'applications éducatives assistées par l'IA disponibles dans le commerce sur les principales boutiques d'applications. Par exemple, il existe des outils de traduction linguistique assistée par l'IA de plus en plus impressionnants, tels que SayHi (SayHi, [2022](#)), dont certains craignent qu'ils ne nuisent davantage à l'apprentissage des langues étrangères dans les écoles, et des applications de mathématiques assistées par l'IA tout aussi impressionnantes, telles que Photomath (Photomath, [2022](#)), dont certains craignent qu'elles ne nuisent à l'apprentissage des mathématiques. Ces craintes reflètent les préoccupations entourant l'introduction des calculatrices dans les écoles il y a une cinquantaine d'années : si l'outil peut le faire (calculer automatiquement une division longue, traduire automatiquement entre les langues ou résoudre automatiquement des équations), peut-être n'est-il pas nécessaire que les enfants apprennent à le faire, ce qui nuit à l'apprentissage (Watters, [2015](#)). C'est exactement cette préoccupation, à savoir que l'utilisation de la technologie pour aider les élèves pourrait en fait nuire à leur apprentissage, qui a conduit le ministère chinois de l'éducation à interdire les applications de devoirs assistés par l'IA qui fournissent automatiquement des réponses en ligne aux questions de devoirs photographiées et téléchargées par les élèves (Dan, [2021](#)).

3.1.3 Simulations assistées par l'IA (par exemple, apprentissage par le jeu, Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée)

Bien qu'elles ne soient peut-être pas traditionnellement considérées comme des technologies d'IA, les simulations de réalité virtuelle (RV) et de réalité augmentée (RA) disponibles dans le commerce et l'apprentissage basé sur les jeux numériques sont fréquemment combinés avec l'apprentissage automatique de l'IA, la reconnaissance d'images et le traitement du langage naturel, et sont de plus en plus utilisés dans des contextes éducatifs. Par exemple, la RV assistée par l'IA a été utilisée pour fournir une formation aux internes en neurochirurgie sur une variété de procédures neurochirurgicales (par exemple, McGuire et Alaraj, [2018](#)), tandis que la RA assistée par l'IA a été utilisée pour permettre aux élèves d'explorer et de manipuler des modèles tridimensionnels de molécules organiques afin d'améliorer leur compréhension de la chimie (par exemple, Behmke et al., [2018](#)). **Google a développé plus d'un millier d'"expéditions"** en réalité virtuelle et en réalité augmentée adaptées à des contextes éducatifs. Dans le même temps, l'apprentissage numérique basé sur les jeux (Digital Game Based Learning, DGBL) inclut de plus en plus de technologies d'IA, afin d'adapter le *gameplay* à chaque élève (LaPierre, [2021](#)).



3.1.4 L'IA au service des apprenants à besoins particuliers

Bon nombre des IAEd au service des élèves disponibles dans le commerce et mentionnées ici (en particulier les ITS) ont été développées pour aider les élèves ayant un trouble de l'apprentissage (Barua et al., [2022](#)), tandis que d'autres approches d'IA ont été utilisées pour assister le diagnostic de troubles de l'apprentissage tels que les troubles de l'attention avec ou sans hyperactivité ou TDAH (par exemple, Anuradha et al., [2010](#)), la dyslexie (Benfatto et al., [2016](#)) et la dysgraphie (Asselborn et al., [2020](#)). En outre, de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des robots dans l'éducation, en particulier pour aider les enfants souffrants de troubles du spectre autistique (par exemple, Alabdulkareem et al., [2022](#)). Parallèlement, il existe un certain nombre d'outils d'IA classiques, comme les applications de synthèse vocale et de sous-titrage automatique d'images, qui ont été "réadaptés" pour les élèves ayant des difficultés d'apprentissage ou mal voyants/non voyants, ainsi qu'un nombre limité d'applications ciblées assistées par l'IA, par exemple certaines qui signent automatiquement pour les enfants ayant des difficultés d'audition, comme StorySign de Huawei (Huawei, [2022](#)).

3.1.5 Outils de rédaction automatique de textes (ORA)

Les dissertations écrites restent un élément important de l'évaluation des études dans le monde entier, mais faire passer le texte d'un autre pour le sien a longtemps été une pratique courante. L'Internet a rendu cette pratique de plus en plus facile, avec des usines de rédaction commerciales en ligne proposant des rédactions sur mesure sur n'importe quel sujet. Les récents développements de l'IA connus sous le nom de "grands modèles linguistiques", tels que le GPT-3 d'Open AI évoqué plus haut, sont sur le point d'avoir un impact encore plus important (GPT-3, [2020](#)). Il existe déjà plusieurs organisations commerciales qui proposent aux élèves des outils de rédaction automatique (ORA) qui, en réponse à une invite telle qu'une question de rédaction, peuvent générer automatiquement des paragraphes individuels ou des rédactions entières. Bien qu'actuellement, l'écriture générée par ORA puisse être superficielle et parfois insensée (Marcus & Davis, [2020](#)), il peut parfois être difficile de déterminer si le texte généré a été écrit par un algorithme ou par un élève humain. Cependant, il n'est pas clair si les outils ORA soutiennent ou nuisent à l'apprentissage des élèves. Néanmoins, étant donné leur sophistication croissante et ce qui pourrait être décrit comme une course aux armements entre les ORA et les détecteurs d'ORA, ils sont susceptibles d'avoir un impact sur la façon dont nous évaluons les élèves (Sharples, [2022](#)).

3.1.6 Agents conversationnels

Les agents conversationnels assistés par l'IA font l'objet de recherches et sont disponibles dans le commerce. Ils sont de plus en plus utilisés dans des contextes éducatifs à des fins diverses (Hwang & Chang, [2021](#) ; Pérez et al., [2020](#)). Par exemple, les agents conversationnels ont été développés pour fournir un soutien et une orientation continus aux élèves, dans les services académiques, le logement, les installations, les examens, l'informatique, la santé et plus encore. Un élève peut, par exemple, poser des questions sur ses cours du matin, sur le lieu de l'examen du lendemain ou sur la note **qu'il a obtenue dans un travail récent**. Un exemple d'agent conversationnel éducatif est Ada, du nom de la pionnière de l'informatique Ada Lovelace, qui a été développé par un collègue communautaire britannique, à l'aide de la plateforme Watson Conversation d'IBM (Hussain, [2017](#)). Un deuxième exemple, tristement célèbre, est l'assistant



d'enseignement virtuel assisté par l'IA développé à Georgia Tech (Goel & Joyner, [2017](#)). Le robot répondait aux questions des élèves pendant un grand cours d'informatique comme s'il était un assistant d'enseignement humain - en répondant automatiquement aux questions pour lesquelles il avait des réponses dans sa base de données (comme la date de remise d'un devoir) et en renvoyant les autres questions aux assistants d'enseignement humains pour qu'ils y répondent. Une telle approche pourrait avoir un grand potentiel dans les établissements d'enseignement en ligne à grande échelle où il peut être difficile pour le personnel humain de répondre à toutes les questions en ligne des élèves. Cependant, le fait que l'assistant virtuel **n'ait pas informé les élèves qu'ils communiquaient avec un robot utilisant de l'IA et qu'il ait** parfois utilisé des astuces pour faire croire aux élèves qu'il était humain (par exemple, en retardant ses réponses) soulève de réelles questions éthiques.

3.1.7 Évaluation formative automatique

Les applications d'évaluation formative automatique font l'objet de recherches et sont disponibles dans le commerce. Elles utilisent le traitement du langage naturel et le traitement sémantique, ainsi que d'autres techniques assistées par l'IA, pour fournir un retour d'information exploitable sur les écrits ou autres productions des élèves. Malgré leur potentiel pour soutenir l'apprentissage des élèves, et probablement en raison des difficultés à fournir automatiquement un retour précis et utile, il existe encore peu d'exemples commerciaux de ce type de services. Un exemple de recherche est Open Essayist (Foster, [2019](#)). L'un des principaux problèmes est qu'actuellement, aucun système d'IA n'est capable d'une interprétation aussi approfondie ou d'une analyse aussi précise que celle d'un enseignant, et qu'il s'appuie généralement sur des caractéristiques superficielles de l'écriture ou d'autres résultats. Grammarly (Grammarly, [2022a](#)) est un exemple de système d'IA qui fournit explicitement un retour sur les caractéristiques de surface de l'écriture. Parallèlement, des recherches menées à l'université de Stanford ont permis d'évaluer un système d'autogestion des apprentissages qui fournissait un retour sur les tâches de programmation effectuées par 12 000 élèves dans le cadre d'un cours d'informatique. Les élèves étaient d'accord avec les commentaires donnés dans environ 98 % des cas, soit un peu plus que leur accord avec les commentaires des instructeurs humains (Metz, [2021](#)).

3.1.8 Orchestrateurs de réseaux d'apprentissage

Par orchestrateurs de réseaux d'apprentissage, nous entendons les systèmes d'IA qui permettent les connexions entre les personnes engagées dans l'éducation. Il existe peu d'exemples étudiés et commercialisés dans ce domaine. Un exemple est le tuteur ouvert (Open Tutor, anciennement connu sous le nom de Smart Learning Partner), développé par des chercheurs de l'Université normale de Pékin (Lu et al., [2018](#)). Si un élève n'a pas compris quelque chose dans sa classe, il peut ouvrir l'application Open Tutor sur son téléphone portable, taper ce qu'il veut savoir, et l'application le met en relation avec une liste de tuteurs humains qui peuvent l'aider, tous notés par d'autres élèves (un peu comme une application de rencontre). Ils bénéficient ensuite de 20 minutes de cours particuliers, avec partage de l'écran et de la voix uniquement. Inévitablement, comme ce système implique des tuteurs humains, il est relativement coûteux à mettre en place. Néanmoins, ce qui est particulièrement intéressant, c'est que l'apprenant est responsable et décide de ce qu'il veut apprendre, tandis que l'IA (contrairement à un STI) joue un rôle de soutien.



3.1.9 Systèmes de tutorat basés sur le dialogue

Les systèmes de tutorat basés sur le dialogue (ou *Dialog Based Tutoring System*) simulent un dialogue de tutorat, généralement dactylographié mais parfois parlé, entre un tuteur humain et un élève. L'objectif est d'encourager l'élève à développer une compréhension approfondie du sujet en question, en allant au-delà des connaissances de surface qui sont le résultat de certains STI. En général, lorsque l'élève travaille étape par étape sur une tâche en ligne, le DBTS utilise le principe du tutorat socratique, qui consiste à poser des questions plutôt qu'à donner des instructions. L'élève est donc guidé pour découvrir par lui-même la solution préétablie pour le problème en cours. Le DBTS le plus connu est AutoTutor, qui fait l'objet de recherches à l'Université de Memphis depuis plus de vingt ans (Nye et al., [2014](#)). Nous n'avons pas été en mesure d'identifier des exemples commerciaux de DBTS actuellement disponibles.

3.1.10 Environnements d'apprentissage exploratoire

Les environnements d'apprentissage exploratoires (en anglais ELE) offrent une alternative à l'approche étape par étape adoptée par les STI et les DBTS. Plutôt que de suivre une séquence, même si elle est adaptée à chaque élève, les élèves sont encouragés à construire activement leurs propres connaissances en explorant et en manipulant les éléments de l'environnement d'apprentissage. L'apprentissage par exploration ou découverte n'est pas nouveau, mais il reste controversé. Ses détracteurs affirment que, comme il n'y a pas d'instruction explicite et que les élèves sont censés découvrir les principes par eux-mêmes, il provoque une surcharge cognitive et entraîne de mauvais résultats d'apprentissage (Kirschner et al., [2006](#) ; Mavrikis et al., [2022](#)). Cependant, c'est là que l'IA entre en jeu, avec de nombreux ELE récents pilotés par l'IA fournissant un retour automatique, abordant les idées fausses et proposant des approches alternatives pendant l'exploration. Il n'existe aucun ELE commercial connu, bien qu'un exemple de recherche soit FractionsLab (IOE, [2018](#)).

3.1.11 Assistants d'apprentissage tout au long de la vie assistés par l'IA

Les assistants d'apprentissage tout au long de la vie assistés par l'IA, des outils que les élèves pourraient peut-être avoir sur leur téléphone portable et qui peuvent fournir un large éventail de soutien et de conseils, ont longtemps été suggérés comme une application potentiellement puissante de l'IA dans l'éducation (Holmes et al., [2019](#)). Cependant, à ce jour, un tel outil a fait l'objet de très peu d'efforts de recherche. Alors que des concepts tels que les jumeaux numériques et les métavers deviennent de plus en plus populaires, les assistants d'apprentissage tout au long de la vie constituent un domaine potentiel pour la recherche sur l'IAEd.



3.2 IAEd au service de l'enseignant

De nombreux dispositifs d'IA au services des élèves, en particulier les Systèmes de Tutorat Intelligents (STI), comprennent des interfaces, ou des *tableaux de bord*, pour les enseignants, souvent basés sur des modèles d'apprenants ouverts, qui offrent une représentation dynamique de ce que les élèves individuels et les groupes d'élèves ont réalisé, ou de leurs idées fausses (Bodily & Verbert, 2017). Une approche novatrice utilise des lunettes de réalité augmentée (RA) portées par l'enseignant pour superposer des informations de type tableau de bord au-dessus de la tête de ses élèves pendant que ceux-ci s'engagent avec un STI (Holstein et al., 2018). Bien qu'impressionnant, il s'agit d'un exemple d'utilisation d'une technologie d'IA pour résoudre un problème causé par une technologie d'IA (ici, pour résoudre le fait que, pendant que les élèves s'engagent avec un STI, leur enseignant ne peut pas facilement voir ce que les élèves font et ne peut donc pas facilement fournir un soutien approprié). Quoiqu'il en soit, les STI et autres dispositifs d'IAEd proposant des tableaux de bord pour les enseignants sont tous principalement au service des élèves. En fait, si, à des fins d'analyse, nous ignorons les chevauchements, il existe peu d'exemples d'IAEd véritablement au service de l'enseignant. Nous examinons ici six possibilités, dont beaucoup sont controversées : la détection du plagiat, la curation intelligente du matériel d'apprentissage, le suivi de la classe, l'évaluation sommative automatique, les assistants pédagogiques intelligents et l'orchestration de la classe.

3.2.1 Détection du plagiat

Les services de détection du plagiat disponibles dans le commerce sont largement utilisés par les éducateurs, et les méthodes d'apprentissage automatique ont été de plus en plus adaptées à ces systèmes au cours de la dernière décennie. Le marché est désormais dominé par Turnitin (Turnitin, 2022), avec ses différents outils tels que iThenticate et Ouriginal, mais des logiciels de détection tels que Plagiarism Checker X (Plagiarism Checker X, 2022) et le correcteur de plagiat de Grammarly (Grammarly, 2022b), plus orienté vers les élèves, sont également largement utilisés.

3.2.2 Curation intelligente des ressources pédagogiques

Comme chacun sait, l'internet est inondé de contenus éducatifs - dans de multiples formats et langues, avec différents niveaux d'accès et de qualité variable. Le défi pour les enseignants et les élèves n'est pas de trouver du contenu mais de trouver facilement du contenu pertinent de haute qualité qui peut être utilisé efficacement. Au moins un outil de recherche, X5GON (X5GON, 2022), et deux outils commerciaux, Teacher Advisor (IBM, 2018) et Clever Owl (Clever Owl, 2022), ont été développés pour explorer automatiquement le web afin de trouver des ressources d'enseignement et d'apprentissage en réponse aux requêtes des enseignants.

3.2.3 Surveillance de la classe

Dans quelques contextes, les systèmes assistés par l'IA ayant fait l'objet de recherches et disponibles dans le commerce sont de plus en plus utilisés pour le suivi des élèves en classe. Par exemple, des applications vidéo assistées par l'IA ont été développées pour surveiller l'endroit où un élève regarde, à partir duquel le système déduit s'il est concentré ou non sur l'enseignant ou la tâche en cours (Lieu, 2018). Ailleurs, et peut-être de manière encore plus intrusive, on demande aux élèves de porter des casques EEG (électroencéphalographie)



portables pour enregistrer leur activité cérébrale afin de "surveiller" leur attention (Poulsen et al., 2017). Par exemple, l'entreprise américaine BrainCo affirme que ses casques peuvent aider les enseignants à identifier les élèves qui ont besoin d'une aide supplémentaire, les données étant présentées sur un tableau de bord qui indique l'activité cérébrale moyenne de toute la classe. Les casques affichent une lumière bleue pour les élèves dont l'activité cérébrale est inférieure à la moyenne, jaune pour ceux qui se situent dans la moyenne et rouge pour ceux dont l'activité cérébrale est supérieure à la moyenne (NeuroMaker, 2022). Des casques similaires sont également largement utilisés dans les écoles chinoises, où les enseignants et les parents peuvent examiner l'activité cérébrale des élèves sur Internet. En Chine, les enseignants affirment que l'utilisation de ces bandeaux a forcé les élèves à devenir plus disciplinés, et que ces derniers sont désormais plus attentifs et travaillent davantage en classe (Wall Street Journal, 2019). En laissant de côté les questions éthiques évidentes, sur lesquelles nous reviendrons plus tard, il est important ici de noter que ces systèmes sont déjà controversés car il y a très peu de preuves qu'ils sont capables de faire ce qu'ils prétendent faire. Pendant ce temps, dans de nombreuses universités, des systèmes assistés par l'IA sont également utilisés pour surveiller les mouvements des élèves sur le campus (parfois au moyen d'une application pour téléphone portable), ce qu'ils téléchargent du système de gestion de l'apprentissage en ligne, ce qu'ils achètent à la cafétéria, et bien d'autres choses encore (Moriarty-Mclaughlin, 2020).

3.2.4 Évaluation sommative automatique

On espère depuis longtemps que l'IA pourrait faire gagner du temps et de l'énergie aux enseignants en automatisant la notation des travaux, devoirs et évaluations des élèves, qui demande beaucoup de travail et se trouve donc coûteuse (Watters, 2021). C'est pourquoi les **outils d'évaluation sommative automatique (parfois aussi appelée " autogradeurs ")** sont un domaine de recherche bien financé, le deuxième après les STI, et il est largement commercialisé.

Ces outils ont été utilisés pour l'évaluation de tâches écrites (par exemple, les SAT américains) (Ramesh et Sanampudi, 2021), ainsi que dans les cours d'informatique et de mathématiques. Certains autogradeurs de pointe prétendent également diagnostiquer le type d'erreur et suggérer à l'élève comment la corriger, tandis que d'autres, selon le domaine, prétendent noter correctement les réponses des élèves avec une précision d'environ 90 % (Hsu et al., 2021). Néanmoins, l'utilisation de la notation automatique reste controversée en particulier lorsque l'évaluation est à enjeux élevés. En fait, les tests à enjeux élevés sont l'un des deux cas d'utilisation à *haut risque* de la proposition de loi européenne sur l'IA, et seraient donc réglementés par ses dispositions. Un exemple commercial d'évaluation sommative automatique est e-Rater (ETS, 2022).

3.2.5 Assistant d'enseignement et d'évaluation assisté par l'IA

Comme indiqué, de nombreuses technologies d'IAEd sont conçues pour faire gagner du temps aux enseignants. Cependant, ce faisant, elles prennent effectivement en charge les tâches d'enseignement, réduisant potentiellement les enseignants à un rôle plus fonctionnel (Guilherme, 2019 ; Selwyn, 2019). Une approche alternative consiste à ce que l'IA soutienne les enseignants dans leur enseignement en augmentant l'expertise et les compétences des enseignants avec un assistant d'enseignement utilisant de l'IA. Ce que pourrait faire un tel



assistant d'enseignement IA reste à déterminer. Il s'agit en effet d'une application spéculative dans la mesure où nous n'avons pas connaissance de recherches ou de produits commerciaux pertinents. Néanmoins, un outil commercial récemment lancé indique une direction intéressante. Au lieu d'une évaluation automatique, comme c'est le cas avec les autogradeurs, Graide (Graide, [2022](#)) soutient l'enseignant dans ses pratiques d'évaluation (par exemple, en proposant des phrases que l'enseignant a déjà écrites et utilisées et qu'il peut réutiliser pour le script en cours de correction). En d'autres termes, c'est l'enseignant qui procède à l'évaluation, et non l'IA seule mais il est assisté par celle-ci.

3.2.6 Orchestration de la classe

L'orchestration de la classe fait référence à la manière dont un enseignant gère les activités (pour des individus, des groupes ou des classes entières) pour des pratiques d'enseignement efficaces, dans le cadre des contraintes disponibles telles que le programme, l'évaluation, le temps, l'espace, l'énergie et la sécurité (Dillenbourg et al., [2011](#)). Cette technologie n'en est qu'à ses débuts, mais il existe un nombre croissant de recherches sur la façon dont l'IA pourrait **aider l'enseignant à orchestrer la classe** (Song, [2021](#)). Un exemple est le système FACT qui fait des recommandations à l'enseignant sur les groupes à visiter et ce qu'il doit dire (VanLehn et al., [2019](#)) pendant que les élèves résolvent des problèmes mathématiques en petits groupes.

3.3 L'IAEd au service des institutions

L'IAEd au service des établissements comprend des technologies qui permettent d'allouer des aides financières (Aulck et al., [2020](#)), de planifier, d'organiser et de programmer des cours (Kitto et al., [2020](#) ; Pardos & Nam, [2020](#)), et d'identifier les abandons et les élèves à risque (Del Bonifro et al., [2020](#) ; Miguéis et al., [2018](#) ; Quille & Bergin, [2019](#)). Ces outils ont une fonction **administrative claire et s'inspirent et partagent beaucoup avec l'intelligence artificielle** au service des organisations et des entreprises. Par conséquent, nous n'aborderons ici que deux cas critiques et controversés d'IAEd axés sur les institutions : les admissions (l'un des cas d'utilisation *à haut risque* définis dans la proposition de loi européenne sur l'IA) et l'e-Proctoring (**surveillance d'examens à distance**).

3.3.1 Admissions

De nombreux établissements d'enseignement supérieur, principalement aux États-Unis, utilisent des logiciels d'admission assistés par l'IA disponibles dans le commerce pour rendre plus efficace leurs processus d'admission - non sans controverse toutefois (Pangburn, [2019](#)). L'idée est de réduire les coûts tout en rendant le système d'admission plus équitable, en aidant à éliminer les biais humains invisibles (comme la pensée de groupe et les préjugés raciaux et sexistes) qui peuvent avoir un impact sur les décisions. Par exemple, l'Université du Texas à Austin a mis au point un système appelé GRADE pour recommander si un candidat devrait être admis, sur la base de ses résultats aux tests, de son parcours scolaire antérieur et de ses lettres de recommandation, affirmant gagner au moins 74 % de temps sur les examens (Waters & Miikkulainen, [2014](#)). Cependant, en 2020, GRADE a été abandonné parce qu'il reproduisait **discrètement les mêmes problèmes qu'il avait l'ambition de résoudre**. Néanmoins, l'IA est de **plus en plus utilisée pour rendre plus efficaces les processus d'admission** (Marcinkowski et al., [2020](#)), souvent à l'aide d'outils fournis par des sociétés commerciales telles que Salesforce (Salesforce, [2022](#)).



3.3.2 Surveillance d'examens - E-proctoring

Au début de la pandémie de COVID-19, une grande partie de l'enseignement a été transférée en ligne, de même que de nombreux examens, ce qui a conduit de nombreuses entreprises de surveillance d'examens (ou *e-Proctoring*) à voir leurs activités se développer massivement (Nigam et al., [2021](#)). L'e-proctoring vise à garantir l'intégrité académique en utilisant des caméras et des microphones assistés par l'IA pour surveiller automatiquement les élèves et élèves - en scannant leur visage et en suivant les frappes au clavier et les mouvements de la souris - pendant qu'ils passent un examen en ligne. Cependant, ces outils sont extrêmement controversés (Kelley, [2021](#)). Ils ont été accusés d'intrusion, de ne pas fonctionner correctement, de discrimination, d'empêcher les élèves de passer leurs examens et d'exacerber les problèmes de santé mentale (Chin, [2020](#) ; Henry & Oliver, [2021](#)). En fait, l'**e-Proctoring est probablement l'un des exemples les plus clairs d'une utilisation** de l'IA pour automatiser de mauvaises pratiques pédagogiques, plutôt que de l'utiliser pour développer de nouvelles approches plus pertinentes.



4. DES OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT DE L'IAEd

Comme indiqué dans l'introduction, les avantages supposés de l'IA dans l'éducation ont reçu beaucoup de visibilité (par exemple, OCDE, [2020](#), [2021](#)).

Selon l'entrepreneur en IA Kai-Fu Lee :

L'enseignement se compose de cours, d'exercices, d'examens et de tutorat. Ces quatre composantes exigent beaucoup de temps de la part de l'enseignant. Cependant, de nombreuses tâches de l'enseignant peuvent être automatisées avec une IA suffisamment avancée. La plus grande opportunité pour l'IA dans l'éducation est peut-être l'apprentissage individualisé [...]. Contrairement aux enseignants humains, qui doivent prendre en compte l'ensemble de la classe, un enseignant virtuel peut accorder une attention particulière à chaque élève, qu'il s'agisse de résoudre des problèmes de prononciation spécifiques, de s'entraîner aux multiplications ou de rédiger des essais. Un enseignant virtuel remarquera ce qui fait se dilater les pupilles d'un élève et ce qui fait tomber ses paupières. Il déduira une méthode d'enseignement de la géométrie qui permettra à un élève d'apprendre plus rapidement, même si cette méthode échoue sur un millier d'autres élèves. Pour un élève qui aime le basket, les problèmes de mathématiques pourront être réécrits en termes contextualisés au domaine du basket. L'IA donnera des devoirs différents à chaque élève, en fonction de son rythme, en veillant à ce qu'un élève donné maîtrise parfaitement un sujet avant de passer au suivant. Grâce à des données toujours plus nombreuses, l'IA rendra l'apprentissage beaucoup plus efficace, attrayant et amusant. (Lee & Qiufan, [2021](#), p. 118)

Une telle vision de l'avenir de l'IA résume parfaitement les convictions de nombre de ses plus ardents défenseurs à propos de l'IAEd.

Elle soulève également des questions fondamentales et controversées : l'automatisation de l'enseignement et des tâches des enseignants, l'individualisation de l'éducation, la surveillance biométrique, l'apprentissage en tant que maîtrise d'un sujet donné et les mesures d'efficacité associées, pour n'en citer que quelques-unes.

Ce n'est que récemment que ces questions ont été intégrées au courant dominant de l'IAEd (Blikstein & Blikstein, [2021](#) ; Holmes et al., [2021](#) ; Selwyn, [2019](#) ; Tuomi, [2018](#) ; Williamson & Eynon, [2020](#)). L'UNESCO (Miao & Holmes, [2021](#)), le Conseil de l'Europe (Holmes et al., [2022](#) ; Yeung, [2019](#)), la Commission européenne (Vuorikari & Holmes, [2022](#)) et la communauté de recherche au sens large (Holmes & Porayska-Pomsta, [2023](#)) ont également commencé à évaluer de manière critique le potentiel futur de l'IA dans l'éducation.

Ensemble, ces publications explorent ce que l'on pourrait appeler une perspective humaniste et d'études critiques sur les liens entre l'IA et l'éducation. Les autres articles de ce numéro de la Revue européenne de l'éducation abordent de nombreux obstacles potentiels sur la voie d'un avenir visionnaire. Nous nous contenterons ici d'en résumer brièvement quelques-uns : l'éthique, la personnalisation, l'efficacité et l'impact, le colonialisme de l'IAEd et la commercialisation de l'éducation.



4.1 Éthique

Ces dernières années, l'IA en général a fait l'objet d'un intérêt croissant pour l'éthique, ce qui a donné lieu à plus de 80 ensembles de principes éthiques en matière d'IA (Ayling et Chapman, [2021](#) ; Jobin et al., [2019](#) ; Tsamados et al., [2022](#)). Nombre d'entre eux ont adopté une approche de l'éthique fondée sur les droits, les droits de l'homme jouant un rôle central. Cependant, malgré les implications fondamentales pour les élèves, les éducateurs, les parents et les autres parties prenantes, relativement peu de publications ont été consacrées spécifiquement à l'éthique de l'IA dans l'éducation, à l'exception notable de ces publications (Adams et al., [2021](#) ; Aiken & Epstein, [2000](#) ; Holmes et al., [2021](#) ; Holmes & Porayska-Pomsta, [2023](#) ; Holstein & Doroudi, [2021](#)). En fait, à ce jour, la plupart des travaux de recherche et de développement sur l'IAEd se sont déroulés sans engagement sérieux quant aux conséquences éthiques potentielles de l'utilisation de l'IA dans l'éducation. Cela contraste avec le domaine connexe de l'analyse de l'apprentissage, où la vie privée et les questions éthiques connexes ont été largement débattues (par exemple, Drachsler et Greller, [2016](#) ; Prinsloo et Slade, [2017](#) ; Slade et Tait, [2019](#) ; Williamson, [2017](#)). Alors qu'en Europe, on s'intéresse de plus en plus à l'élaboration de lignes directrices et de règlements axés sur les enseignants pour le développement et le déploiement éthiques de l'IA dans l'éducation (par exemple, CE, [2022](#)), il n'en reste pas moins qu'aucune réglementation appropriée n'a encore été promulguée dans le monde (Holmes, Bektik, et al., [2018](#)).

Un rapport du Conseil de l'Europe a récemment exploré l'IA et l'éducation en termes de droits de l'homme (Holmes et al., [2022](#)), en s'appuyant sur la Déclaration universelle des droits de l'homme des Nations Unies ([1948](#)), la Convention européenne des droits de l'homme (Conseil de l'Europe, [1953](#)) et la Convention des Nations Unies relative aux droits de l'enfant ([1989](#)). Nous soulignons ici certaines questions clés, accompagnées d'exemples, que le rapport aborde en détail.

- *Droit à la dignité humaine.* L'enseignement, l'évaluation et l'accréditation ne doivent pas être délégués à un système d'IA.
- *Droit à l'autonomie.* Les enfants devraient avoir le droit d'éviter d'être profilés individuellement, d'éviter les parcours d'apprentissage dictés, et de protéger leur développement et leur vie future.
- *Le droit d'être entendu.* Les enfants devraient avoir le droit de ne pas s'engager dans **l'utilisation d'un système d'IA, sans que** cela n'affecte négativement leur éducation.
- *Droit de ne pas souffrir de discrimination.* Tous les enfants devraient avoir la possibilité de bénéficier de l'utilisation des technologies, et pas seulement ceux issus des groupes socio-économiques qui peuvent se le permettre.
- *Droit à la confidentialité et à la protection des données.* Les enfants doivent avoir le droit que leurs données ne soient pas agrégées et utilisées à des fins commerciales sans leur bénéfice direct.
- *Droit à la transparence et à l'explicabilité.* Les enfants et leurs parents doivent pouvoir comprendre et contester toute décision prise par un système IAEd.

Alors que la plupart des discussions centrées sur l'éthique de l'IAEd et du domaine connexe de l'analyse de l'apprentissage se concentrent sur les données (par exemple, les biais, la vie privée et la propriété des données) et sur la façon dont ces données sont analysées (par exemple, l'équité, la transparence, la confiance et la fiabilité), l'éthique de l'IAEd ne peut pas être réduite



aux seules questions relatives aux données et aux approches informatiques. En d'autres termes, l'étude de l'éthique des données et des calculs de l'IAEd est nécessaire mais pas suffisante (Holmes et al., [2021](#)). L'éthique de l'IAEd doit également aborder l'éthique de l'éducation. Cela soulève d'importantes questions centrées sur la pédagogie (la pédagogie instructionniste adoptée par la plupart des IAEd est-elle éthiquement fondée ?), les évaluations (que faut-il évaluer et comment ?), les connaissances (qu'est-ce qui compte comme connaissances ?), et l'agentivité de l'élève et de l'enseignant (qui doit avoir le *contrôle* ?) (Holmes & Porayska-Pomsta, [2023](#)). Bien que les préoccupations éthiques générales liées à l'IA soient aujourd'hui largement débattues, l'éducation occupe des rôles sociaux importants et vise le développement humain, ce qui rend les défis éthiques connexes particulièrement difficiles, tant sur le plan conceptuel que dans la pratique. Pour cette raison, il a été suggéré qu'un cadre éthique adéquat pour l'IAEd doit être construit en utilisant l'apprentissage et le développement humain comme point de départ (Tuomi, [2023](#)). Cela signifie également que les cadres éthiques pour l'IA générale doivent être plus explicites sur leurs modèles implicites de progrès et de développement.

4.2 Personnalisation

Bien que la signification de l'*apprentissage personnalisé* reste floue (Holmes, Anastopoulou, et al., [2018](#)), elle nourrit de plus en plus le récit éducatif dominant (par exemple, Parlement européen, [2021](#) ; UNICEF, [2022](#)). En fait, comme nous l'avons vu dans l'introduction, le développement de technologies permettant de *personnaliser l'apprentissage* en fonction des forces et des faiblesses de chaque élève a commencé il y a près de 100 ans, avec les "*machines à enseigner*" conçues par Sidney Pressey et B. F. Skinner (Watters, [2021](#)). Pour diverses raisons, ces machines n'ont pas été largement acceptées, et le programme d'apprentissage personnalisé a plus ou moins disparu. Il est réapparu des décennies plus tard, principalement dans la Silicon Valley, en partie parce que l'Internet a rendu possible la personnalisation de masse dans un large éventail d'industries. Une question souvent posée est la suivante : si nous pouvons avoir des recommandations personnalisées sur Netflix ou Amazon, pourquoi ne pouvons-nous pas faire la même chose dans l'éducation ?

La personnalisation des parcours d'apprentissage proposée par une grande partie de l'IAEd actuelle est toutefois une interprétation très limitée de la personnalisation. La personnalisation, comprise de manière plus large, concerne la subjectivation (Biesta, [2011](#)) et l'aide apportée à chaque élève pour qu'il réalise son propre potentiel, qu'il s'accomplisse lui-même et qu'il renforce son action. C'est quelque chose que peu d'outils IAEd existants font. Au contraire, alors qu'ils proposent des parcours adaptatifs à travers les matériaux à apprendre, la plupart des outils IAEd ont tendance à favoriser l'homogénéisation des élèves. Une interprétation critique de ces outils IAEd pourrait suggérer qu'ils visent à s'assurer que les élèves entrent dans la bonne boîte (passent leurs examens), préparés à leur rôle désigné dans le monde du travail.

Il convient de noter trois autres problèmes connexes.

Premièrement, l'agenda de la *personnalisation*, tel qu'il est exprimé, par exemple, dans la citation de Kai Fu-Lee ci-dessus, suppose que cela n'est possible qu'avec la technologie. Cependant, la plupart des enseignants *personnalisent* leur enseignement au fur et à mesure,



en réponse à chaque élève, en l'aidant (si le système éducatif le permet) à se réaliser, à devenir le meilleur qu'il puisse être.

Deuxièmement, les parcours dits individuels fournis par la quasi-totalité des systèmes IAEd sont principalement basés sur les moyennes des apprenants précédents. Par conséquent, s'ils peuvent être applicables à des groupes, leur utilité ou leur applicabilité à des élèves en tant qu'individuels n'est pas évidente.

Troisièmement, l'éducation concerne également la collaboration et les autres aspects d'interaction sociale de l'enseignement et de l'apprentissage, qui sont souvent ignorés par les STI actuels et la plupart des autres IAEd. Si les STI peuvent être utiles lorsque l'élève est sans enseignant ou sans ses pairs, par exemple lorsqu'il fait ses devoirs en autonomie, on ne comprend pas pourquoi certaines écoles les utilisent dans les salles de classe, qui sont par définition des espaces sociaux.

4.3 Efficacité et impact

Les preuves de l'impact positif de l'utilisation de l'IAEd sont importantes pour les décideurs politiques, mais aussi pour une utilisation éthique de l'AI. L'investissement en temps et, par exemple, en efforts des enseignants, nécessite une justification acceptable. Comme le montrent les nombreux articles publiés dans l'International Journal of Artificial Intelligence in Education, les chercheurs universitaires ont mené de nombreuses études sur l'efficacité de divers systèmes IAEd. Beaucoup de ces études ont été synthétisées dans de nombreuses méta-analyses et méta-méta-analyses (par exemple, Kulik & Fletcher, [2016](#) ; Ma et al., [2014](#)).

Selon du Boulay, *"La conclusion générale de ces méta-analyses est que les systèmes d'IAEd sont plus performants que [...] les enseignants humains travaillant dans des classes nombreuses. Ils sont légèrement moins performants que les tuteurs humains en tête-à-tête [...]. Bien sûr, de bons résultats post-test ne sont pas les seuls critères pour juger si une technologie éducative sera ou devrait être adoptée.* (du Boulay, [2016](#), p. 80).

La grande majorité des études d'impact ont été menées par les développeurs de la technologie étudiée (de plus en plus souvent des organisations commerciales), et le plus souvent avec un nombre relativement faible d'apprenants. Cela réduit potentiellement leur caractère généralisable.

Dans quelques cas seulement, les études ont été menées de manière indépendante et/ou à grande échelle (par exemple, Egeland et al., [2019](#) ; Pane et al., [2013](#) ; Roschelle et al., [2017](#)). La plupart de ces grandes études indépendantes ont été menées aux États-Unis, ce qui limite leur transférabilité à d'autres pays. Par conséquent, il reste vrai de dire que *"beaucoup de revendications du potentiel révolutionnaire de l'IA dans l'éducation sont basées sur des conjectures, des spéculations et de l'optimisme"* (Nemorin, 2021, cité dans Miao & Holmes, [2021](#), p. 13).

L'un des problèmes de la recherche sur l'IAEd est qu'elle s'est presque toujours concentrée sur l'efficacité de l'outil d'IA pour améliorer les résultats scolaires de l'élève dans le domaine étroit traité par l'outil. Il est très rare que la recherche prenne en compte les implications plus larges de l'IA dans les salles de classe et son impact plus large sur les enseignants et les élèves : Une *"grande partie de ce qui existe aujourd'hui en tant que "preuves" est principalement liée à la*



façon dont l'IA peut fonctionner dans l'éducation dans une capacité technique, sans prendre le temps de poser la question de savoir si l'IA est nécessaire dans l'éducation et d'y répondre de manière exhaustive " (Nemorin, 2021, cité dans Miao & Holmes, 2021, p. 26).

L'un des impacts potentiels importants de l'IAEd concerne la cognition humaine et le développement du cerveau. On pense depuis longtemps, depuis que Socrate a affirmé que l'écriture conduisait à l'oubli (Platon, 257 C.E.), que la technologie a un impact significatif sur le développement humain et la cognition. Inévitablement, cependant, cet impact est susceptible d'être complexe. Par exemple, alors qu'une étude a suggéré qu'une plus grande utilisation des dispositifs et applications de navigation du système de positionnement global (GPS) entraîne un déclin de la mémoire spatiale (Dahmani & Bohbot, 2020), une autre a montré que l'utilisation des alertes des smartphones libère des ressources cognitives pour d'autres tâches (Fröscher et al., 2022). Cependant, plusieurs questions restent en suspens en ce qui concerne l'impact de la technologie sur le cerveau et la cognition des enfants - ce qui est particulièrement important car les structures et les capacités cognitives des enfants sont par définition encore en développement. Ces questions consistent notamment à savoir si l'utilisation de la technologie est la cause de divers résultats cognitifs et comportementaux tels que les problèmes d'attention, si l'utilisation de la technologie est impliquée dans la restructuration de certaines parties du cerveau des enfants, s'il existe des risques réels pour la santé associés à l'utilisation de la technologie et, le cas échéant, quels pourraient être les mécanismes de causalité (Gottschalk, 2019). Ces questions sont également susceptibles d'être critiques pour l'IAEd, ce qui suggère la nécessité de nouvelles recherches dans ce domaine.

4.4 Le techno-solutionnisme

La conclusion selon laquelle "*les systèmes IAEd sont plus performants que [...] les enseignants humains*" (du Boulay, 2016, p. 80) a été utilisée pour justifier leur déploiement de plus en plus large dans le monde. En particulier, il a été avancé que l'IAEd pourrait efficacement combler le vide dans des contextes tels que les zones rurales des pays en développement où l'accès aux enseignants expérimentés ou qualifiés nécessaires pour fournir aux apprenants une éducation **de qualité qui est insuffisante alors qu'elle fait partie de leurs droits humains (XPRIZE, 2015)**.

Cependant, bien que la cohorte immédiate dans un tel contexte puisse bénéficier de l'accès à un outil IAEd, les défis sont nombreux. Pour commencer, de nombreuses zones rurales ne disposent pas encore des infrastructures nécessaires (électricité et accès à Internet). Même lorsque ces infrastructures sont disponibles, il est rare que l'on dispose du personnel d'assistance qualifié nécessaire au déploiement, à la gestion et au soutien du matériel et des logiciels requis. Plus important encore, l'IAEd dans de tels contextes peut s'attaquer aux symptômes apparents du problème (par exemple, les apprenants ne reçoivent pas une éducation de qualité), mais pas nécessairement aux causes sociopolitiques sous-jacentes et à long terme (le manque d'enseignants expérimentés et qualifiés).

Dans la pratique, la manière dont les *problèmes* sont formulés dépend souvent des intérêts des fournisseurs de technologie. Les facteurs sociaux et culturels plus profonds sont rarement abordés car ils sont difficiles à modifier sans une large participation des parties prenantes et un changement de politique.



Comme le note Krahulcova : "*Malheureusement, la plupart des problèmes complexes du monde réel exigent des solutions complexes du monde réel*" (Krahulcova, 2021, paragraphe 3).

En conséquence, la meilleure façon de résoudre le problème du manque d'enseignants qualifiés est probablement de se concentrer sur le développement et le soutien professionnels offerts aux enseignants inexpérimentés, qui pourraient être soutenus par une IA appropriée. Ce soutien, à son tour, pourrait bénéficier de l'établissement de réseaux de collègues et d'experts en pédagogie assistés par l'IA dans tout le pays. L'accent serait à nouveau mis sur **l'augmentation (ou l'encapacitation) des enseignants : utiliser la technologie pour soutenir et augmenter les enseignants plutôt que de les remplacer.**

4.5 Le "colonialisme de l'IAEd"

Les entreprises de l'IAEd vendent de plus en plus leurs outils IAEd à l'échelle mondiale, créant ce que l'on a appelé un "colonialisme de l'IAEd" : Les entreprises des pays développés économiquement exportent leurs outils IAEd dans des contextes des pays en voie de développement, créant des asymétries de pouvoir entre les nations. Il a été noté que, trop souvent, "*les technologies numériques fonctionnent de manière à perpétuer les formations raciales et coloniales du passé*" (d'après Zembylas, 2021, p. 1). Cette situation est exacerbée par le fait que l'écrasante majorité des recherches sur l'IAEd sont également menées dans les pays économiquement développés et qu'elles abordent rarement la diversité culturelle ou les politiques et pratiques locales de manière significative (Blanchard, 2015).

Le "colonialisme de l'IAEd" peut impliquer l'adoption d'outils IAEd créés dans un contexte donné dans d'autres endroits, ce qui entraîne des gains commerciaux et économiques globaux pour les entreprises du Nord, avec l'extraction de données et de capitaux locaux hors du pays hôte (Nemorin et al., 2022). Ces gains et extractions peuvent commencer par un nombre **restreint d'écoles qui intègrent les outils IAEd dans les pratiques quotidiennes des enseignants** avant de s'étendre à des systèmes éducatifs nationaux entiers dans lesquels des produits **uniques sont adoptés dans toutes les écoles. Cependant, le "colonialisme de l'IAEd" ne dépend pas nécessairement de l'importation d'outils spécifiques dans les pays du Sud.** Plus subtilement, il pourrait simplement impliquer la langue dans laquelle la plupart des IAEd en classe ont tendance à être formés - principalement l'anglais américain (Cotterell et al., 2020). Dans tous les cas, l'impact des modèles formés en anglais utilisés par les outils IAEd dans des contextes non anglophones et sur les enfants qui les utilisent reste inconnu (Naismith & Juffs, 2021).

Le "colonialisme de l'IAEd" pourrait également impliquer l'imposition d'approches pédagogiques particulières - à l'heure actuelle souvent instructionnistes et comportementalistes - telles qu'elles sont intégrées dans la plupart des systèmes de tutorat commerciaux actuels de l'IAEd.

Enfin, le "colonialisme" peut également s'inscrire dans un spectre plus large. Par exemple, lorsque des pays tiers souhaitent tirer parti de l'IA, certaines entreprises américaines s'attendent à ce qu'ils adoptent des produits d'IA existants prêts à l'emploi, plus ou moins tels qu'ils ont été développés pour les États-Unis, tandis que les entreprises chinoises, du moins dans les régions de Chine, sont plus susceptibles de personnaliser leurs produits pour répondre aux circonstances et aux priorités locales (Knox, 2020 ; Lee, 2018). D'une manière ou d'une



autre, il est probable que les outils IAEd américains, chinois ou d'autres pays du Nord relativement bien financés évincent les outils IAEd moins bien financés mais entraînés localement et potentiellement plus sensibles à la situation locale.

4.6 Marchandisation de l'éducation

Un dernier obstacle potentiel relevé dans cet article est la marchandisation de l'éducation à la dérobée. Si l'IA au service de l'apprenant fait l'objet de recherches depuis une quarantaine d'années, il y a près de dix ans, elle est passée du stade de laboratoire de recherche à celui de produit commercialisé par un nombre croissant de sociétés d'IAEd financées à hauteur de plusieurs millions de dollars.

Ce sont principalement ces produits qui sont mis en œuvre dans les écoles du monde entier, souvent par des agences gouvernementales (locales et nationales). Il est important de le noter pour plusieurs raisons.

Premièrement, alors que la recherche originale est entreprise dans le milieu universitaire dans le but explicite d'améliorer l'enseignement et l'apprentissage, les organisations commerciales d'aujourd'hui se concentrent par définition sur la génération de profits.

Comme le demandent Holmes et ses collègues :

“Étant donné que les interactions des enfants avec ces systèmes d'IA génèrent à la fois des connaissances techniques sur le fonctionnement du produit et des connaissances commerciales sur la façon dont le produit est utilisé, les enfants des salles de classe du monde entier sont-ils en train d'être recrutés furtivement pour créer et fournir des renseignements commerciaux conçus pour soutenir les résultats des entreprises - et cela est-il prioritaire par rapport à l'apprentissage et au développement cognitif de l'enfant ?” (Holmes et al., 2022, p. 24)

Par exemple, une étude sur les manières complexes dont Google lie les utilisateurs et les développeurs IAEd à son infrastructure a montré que la Google Classroom est devenue à la fois un collecteur mondial de données sur les élèves et également un point de contrôle critique où les règles de participation sont définies (Perrotta et al., 2021 ; Williamson, 2021). Bien que certains flux de données des pays de l'UE vers d'autres pays soient limités par les dispositions du Règlement Général sur la Protection des Données de l'UE (RGPD), dans la pratique, il est **très difficile de savoir comment des services complexes basés sur l'Internet utilisent et traitent les données** (Day, 2021).

Les organisations commerciales partagent rarement des informations sur leurs systèmes propriétaires et leur efficacité. Au-delà de la limitation de l'interopérabilité, cela a des conséquences potentiellement importantes pour le contrôle social de l'éducation et l'innovation éducative. L'IA basée sur les données, en particulier, présente d'importants avantages d'échelle et, dans les écosystèmes en réseau actuels, cela peut conduire à des monopoles naturels. L'avenir de l'IAEd est donc également une question économique, voire géopolitique. **Les organisations commerciales d'IAEd ne façonnent pas seulement les apprenants individuels, mais commencent également à influencer la gouvernance et les politiques nationales.** L'impact sociétal et culturel peut également dépasser les impacts



économiques plus superficiels. Par exemple, Baker a suggéré qu' *"ils imposeront leurs normes sur ce qui compte comme connaissance"* (Baker, 2000, p. 127). En résumé, la commercialisation de l'éducation par le biais de l'IAEd est potentiellement lourde de conséquences pratiques et idéologiques.

5. VISION CONCLUSIVE

Les progrès de l'IA axée sur les données ayant entraîné une augmentation exponentielle des besoins en calcul, il est de plus en plus évident que l'avenir de l'IA ne peut pas vraiment être prédit en extrapolant les développements de la dernière décennie. Alors que certains affirment avec force que l'IA basée sur les données sera bientôt capable, si les données sont suffisantes, de surpasser l'intelligence humaine (par exemple, LeCun et Browning, 2022), d'autres soutiennent de manière tout aussi convaincante que l'IA basée sur les données atteint un plafond de développement et que les progrès vers une intelligence de niveau humain ne seront probablement possibles qu'avec un nouveau paradigme, qui pourrait impliquer une combinaison des deux approches (par exemple, Marcus, 2022). On parle parfois d'"IA neuro-symbolique" (Susskind et al., 2021). Vraisemblablement, seul le temps nous le dira.

Dans les applications éducatives, la combinaison des approches basées sur la connaissance et celles basées sur les données représente cependant une voie naturelle. L'IA basée sur les données fournit d'importantes fonctionnalités de traitement de l'information de base, telles que la reconnaissance des formes. L'éducation, en revanche, s'est généralement concentrée sur le développement progressif de structures conceptuelles théoriques spécifiques à un domaine (par exemple, Davydov, 1982 ; Tuomi, 2022). De nombreuses percées récentes dans l'IA basée sur les données, comme la capacité de localiser un chat dans une image ou de distinguer des mots dans une phrase parlée, sont des tâches simples pour un enfant déjà des années avant son entrée à l'école. Dans les contextes éducatifs, le développement de l'IA peut donc être considéré de manière plus constructive comme un développement conjoint de la cognition humaine et artificielle. Cela suggère que l'avenir de l'IAEd devrait être compris du point de vue de l'augmentation de la cognition et de l'apprentissage humains par l'IA, une approche qui a été une ligne de pensée importante en IA tout au long de son histoire (Bush, 1945 ; Engelbart, 1963 ; Winograd & Flores, 1986).

D'un point de vue purement technique, étant donné que l'architecture de base de l'internet est sur le point de changer, le monde sera bientôt différent. Dans dix ans, les données devraient se déplacer des nuages centralisés vers les utilisateurs, la réalité virtuelle et augmentée devrait se généraliser, et notre environnement physique sera de plus en plus lié au monde numérique évoluant en temps réel. Les capteurs connecteront tout au prochain Internet, des voitures assistées par l'IA aux machines à laver, en passant par les chaînes de montage des usines, les services publics, les montres, les sonnettes et, oui, les téléphones portables s'ils existent encore. Les réseaux 5G, les identités numériques basées sur la blockchain, les nouvelles architectures internet cloud-to-edge et l'apprentissage automatique, aux côtés de l'intelligence artificielle, sont tous susceptibles d'être des technologies clés dans ce changement.

L'avenir de l'éducation est imprévisible, mais dans cet article, nous avons voulu aider le lecteur à y voir plus clair. Toutes nos images de l'avenir sont basées sur notre compréhension et notre construction de l'histoire. Dans cet article, nous avons exploré l'histoire de l'IA et de l'IAEd,



fourni une typologie des systèmes d'IA dans l'éducation - en situant quelques exemples de l'état actuel de l'art dans cette typologie - et discuté de certains obstacles potentiels qui doivent être abordés pour aller de l'avant.

Alors que le paysage technologique qui nous entoure évolue rapidement, nous devons également réfléchir au rôle de l'éducation dans ce monde en mutation. On suppose souvent que l'innovation et le changement techniques sont synonymes de progrès, mais, dans le domaine de l'éducation, nous devons également nous demander quand le changement est synonyme de développement bienvenu.



Références

- Adams, C., Pente, P., Lemermeyer, G., & Rockwell, G. (2021). Artificial intelligence ethics guidelines for K-12 Education: A review of the global landscape. In I. Roll, D. McNamara, S. Sosnovsky, R. Luckin, & V. Dimitrova (Eds.), *Artificial intelligence in education* (Vol. 12749, pp. 24– 28). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-78270-2_4
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- AI HLEG. (2019a). A definition of AI: Main capabilities and disciplines. European Commission. <https://www.aepd.es/sites/default/files/2019-12/ai-definition.pdf>
[Google Scholar](#)
- AI HLEG. (2019b). Ethics guidelines for trustworthy AI. European Commission. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
[Google Scholar](#)
- Aiken, R. M., & Epstein, R. G. (2000). Ethical guidelines for AI in education: Starting a conversation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 163– 176.
[Google Scholar](#)
- Alabdulkareem, A., Alhakbani, N., & Al-Nafjan, A. (2022). A systematic review of research on robot-assisted therapy for children with autism. *Sensors*, 22(3), 944.
<https://doi.org/10.3390/s22030944>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Anuradha, J., Dhiman, T., Ramachandran, V., Arulalan, K. V., & Tripathy, B. K. (2010). Diagnosis of ADHD using SVM algorithm. In *Proceedings of the Third Annual ACM Bangalore Conference* (pp. 1– 4). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/1754288.1754317>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Asselborn, T., Chapatte, M., & Dillenbourg, P. (2020). Extending the spectrum of dysgraphia: A data driven strategy to estimate handwriting quality. *Scientific Reports*, 10(1), 3140. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60011-8>
[CrossrefCASPubMedWeb of Science@Google Scholar](#)
- Aulck, L., Nambi, D., & West, J. (2020). Increasing enrollment by optimizing scholarship allocations using machine learning and genetic algorithms. Conference paper. International Educational Data Mining Society. <https://eric.ed.gov/?id=ED608000>
[Google Scholar](#)
- Ayling, J., & Chapman, A. (2021). Putting AI ethics to work: Are the tools fit for purpose? *AI and Ethics*, 2, 405– 429. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00084-x>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Baker, M. J. (2000). The roles of models in artificial intelligence and education research: A prospective view. *Journal of Artificial Intelligence and Education*, 11, 122– 143.
[Google Scholar](#)
- Baker, T., & Smith, L. (2019). Educ-AI-tion rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges. NESTA.
[Google Scholar](#)
- Barua, P. D., Vicnesh, J., Gururajan, R., Oh, S. L., Palmer, E., Azizan, M. M., Kadri, N. A., & Acharya, U. R. (2022). Artificial intelligence enabled personalised assistive tools to enhance Education of children with neurodevelopmental disorders—A review.



International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1192.

[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)

- Behmke, D., Kerven, D., Lutz, R., Paredes, J., Pennington, R., Brannock, E., Deiters, M., Rose, J., & Stevens, K. (2018). Augmented reality chemistry: Transforming 2-D molecular representations into interactive 3-D structures. *Proceedings of the Interdisciplinary STEM Teaching and Learning Conference*, 2(1), 5– 11. <https://doi.org/10.20429/stem.2018.020103>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Benfatto, M. N., Seimyr, G. Ö., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A., & Jacobson, C. (2016). Screening for dyslexia using eye tracking during Reading. *PLoS One*, 11(12), e0165508. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165508>
[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Biesta, G. J. J. (2011). *Good Education in an age of measurement: Ethics, politics, democracy*. Paradigm Publishers.
[Google Scholar](#)
- Blanchard, E. G. (2015). Socio-cultural imbalances in IAEd research: Investigations, implications and opportunities. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(2), 204– 228. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0027-7>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Blikstein, P., & Blikstein, I. (2021). Do educational technologies have politics? A semiotic analysis of the discourse of educational technologies and artificial intelligence in education. Algorithmic rights and protections for children. Work in Progress Online Publication. <https://doi.org/10.1162/ba67f642.646d0673>
[Google Scholar](#)
- Bloom, B. S. (1968). Learning for mastery. Instruction and curriculum. Regional Education Laboratory for the Carolinas and Virginia. Topical papers and reprints, number 1. *Evaluation Comment*, 1(2), 1– 11. <https://eric.ed.gov/?id=ED053419>
[Google Scholar](#)
- Bloom, B. S. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4– 16.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Bodily, R., & Verbert, K. (2017). Review of research on student-facing learning analytics dashboards and educational recommender systems. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(4), 405– 418. <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2740172>
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. Cornell University. <http://arxiv.org/abs/2005.14165>
[Google Scholar](#)
- Bull, S., & Kay, J. (2010). Open learner models. In R. Nkambou, J. Bourdeau, & R. Mizoguchi (Eds.), *Advances in intelligent tutoring systems* (pp. 301– 322). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14363-2_15
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Bush, V. (1945). As we may think. *Atlantic Monthly*, 176(1), 101– 108.
[Google Scholar](#)



- Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G.-J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Chin, M. (2020, April 29). Exam anxiety: How remote test-proctoring is creeping students out. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2020/4/29/21232777/examity-remote-test-proctoring-online-class-education>
[Google Scholar](#)
- Clever Owl. (2022). Clever Owl. <https://cleverowl.education/#About>
[Google Scholar](#)
- Cotterell, R., Mielke, S. J., Eisner, J., & Roark, B. (2020). Are all languages equally hard to language-model? Cornell University. <http://arxiv.org/abs/1806.03743>
[Google Scholar](#)
- Council of Europe. (1953). European convention on human rights. European Court of Human Rights. https://www.echr.coe.int/documents/convention_eng.pdf
[Google Scholar](#)
- Dahmani, L., & Bohbot, V. D. (2020). Habitual use of GPS negatively impacts spatial memory during self-guided navigation. *Scientific Reports*, 10(1), 6310. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62877-0>
[CrossrefCASPubMedWeb of Science@Google Scholar](#)
- Dan, Z. (2021). Ministry removes homework help apps, citing impact on student learning. *Global Times*. <https://www.globaltimes.cn/page/202112/1241383.shtml>
[Google Scholar](#)
- Davydov, V. V. (1982). The psychological structure and contents of learning activity in school children. In R. Glaser & J. Lompscher (Eds.), *Cognitive and motivational aspects of instruction*. Deutscher Verlag der Wissenschaften.
[Google Scholar](#)
- Day, E. (2021). Governance of data for children's learning in UK state schools. Digital Futures Commission, 5Rights Foundation. <https://digitalfuturescommission.org.uk/wp-content/uploads/2021/06/Governance-of-data-for-children-learning-Final.pdf>
[Google Scholar](#)
- Del Bonifro, F., Gabbrielli, M., Lisanti, G., & Zingaro, S. P. (2020). Student dropout prediction. In I. I. Bittencourt, M. Cukurova, K. Muldner, R. Luckin, & E. Millán (Eds.), *Artificial intelligence in education* (pp. 129– 140). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52237-7_11
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Denton, E., Hanna, A., Amironesei, R., Smart, A., & Nicole, H. (2021). On the genealogy of machine learning datasets: A critical history of ImageNet. *Big Data & Society*, 8(2), 20539517211035956. <https://doi.org/10.1177/20539517211035955>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Dignum, V. (2018). Ethics in artificial intelligence: Introduction to the special issue. *Ethics and Information Technology*, 20(1), 1– 3. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9450-z>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Dillenbourg, P., Järvelä, S., & Fischer, F. (2009). The evolution of research on computer-supported collaborative learning. In N. Balacheff, S. Ludvigsen, T. Jong, A. Lazonder, & S. Barnes (Eds.), *Technology-enhanced learning: Principles and products* (pp. 3– 19).



Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9827-7_1

[Crossref](#)[Google Scholar](#)

- Dillenbourg, P., Zufferey, G., Alavi, H., Jermann, P., Do-Lenh, S., Bonnard, Q., Cuendet, S., & Kaplan, F. (2011). Classroom orchestration: The third circle of usability. In Computer Support for Collaborative Learning Conference. CSCL2011 Proceedings (Vol. 1, pp. 510– 517). Springer.
[Google Scholar](#)
- Domoscio. (2022). Domoscio. <https://domoscio.com/en/domoscio-spark-2/>
[Google Scholar](#)
- Drachler, H., & Greller, W. (2016). Privacy and analytics – It's a DELICATE issue. A checklist for trusted learning analytics. In Conference paper. Computer Support for Collaborative Learning Conference. Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/2883851.2883893>
[Google Scholar](#)
- du Boulay, B. (2016). Artificial intelligence as an effective classroom assistant. *IEEE Intelligent Systems*, 31(6), 76– 81. <https://doi.org/10.1109/MIS.2016.93>
[Crossref](#)[Web of Science](#)[Google Scholar](#)
- du Boulay, B. (2019). Escape from the Skinner box: The case for contemporary intelligent learning environments. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 2902– 2919. <https://doi.org/10.1111/bjet.12860>
[Wiley Online Library](#)[Web of Science](#)[Google Scholar](#)
- EC. (2018). Artificial intelligence for Europe. COM (2018) 237 final. European Commission. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-artificial-intelligence-europe>
[Google Scholar](#)
- EC. (2021). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the council laying down harmonised rules on artificial intelligence (artificial intelligence act) and amending certain union legislative acts. COM (2021) 206 final. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>
[Google Scholar](#)
- EC. (2022). Ethical guidelines on artificial intelligence (AI) and data usage in teaching and learning. European Commission Unpublished document.
[Google Scholar](#)
- Egelanddsdal, K., Smith, M., Hansen, C. J. S., Ness, I., & Wasson, B. (2019). Adaptiv læring i matematikk: Empirisk rapport om Multi Smart Øving i grunnskolen. Centre for the Science of Learning & Technology (SLATE), University of Bergen.
<https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/1956/21354>
[Google Scholar](#)
- Engelbart, D. C. (1963). A conceptual framework for the augmentation of man's intellect. In P. W. Howerton & D. C. Weeks (Eds.), *Vistas in information handling* (pp. 1–29). Spartan Books.
[Google Scholar](#)
- ETS. (2022). E-rater scoring engine. ETS. <https://www.ets.org/erater>
[Google Scholar](#)
- European Parliament. (2021). Artificial intelligence in education, culture and the audiovisual sector. 19 May 2021. European Parliament.
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0238_EN.html
[Google Scholar](#)



- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(2018), 689– 707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Foster, S. (2019). What barriers do students perceive to engagement with automated immediate formative feedback. *Journal of Interactive Media in Education*, 2019(1), 1– 5. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1228614>
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Fröscher, L., Friedrich, A.-K., Berentelg, M., Widmer, C., Gilbert, S. J., & Papenmeier, F. (2022). Framing cognitive offloading in terms of gains or losses: Achieving a more optimal use of reminders. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 7(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s41235-022-00416-3>
[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Gardner, H. (1985). *The Mind's new science: Cognitive revolution in the computer age*. Basic Books.
[Google Scholar](#)
- GMI. (2022). AI in Education market size & share, growth forecast 2022–2030. Global Market Insights Inc.. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-in-education-market>
[Google Scholar](#)
- Goel, A. K., & Joyner, D. A. (2017). Using AI to teach AI: Lessons from an online AI class. *AI Magazine*, 38(2), 48– 59. <https://doi.org/10.1609/aimag.v38i2.2732>
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Google. (2022). Google Drive. Website for Personal Cloud Storage & File Sharing Platform. <https://www.google.co.uk/drive/>
[Google Scholar](#)
- Gottschalk, F. (2019). Impacts of technology use on children: exploring literature on the brain, cognition and well-being. OECD. <https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=EDU/WKP%282019%293&docLanguage=En>
[Google Scholar](#)
- GPT-3. (2020, September 8). A robot wrote this entire article. Are you scared yet, human? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/sep/08/robot-wrote-this-article-gpt-3>
[Google Scholar](#)
- Graide. (2022). Graide. <https://www.graide.co.uk/>
[Google Scholar](#)
- Grammarly. (2022a). Grammarly: Free online writing assistant. Grammarly. <https://www.grammarly.com/>
[Google Scholar](#)
- Grammarly. (2022b). Plagiarism checker by grammarly. Grammarly. <https://www.grammarly.com/plagiarism-checker>
[Google Scholar](#)



- Guilherme, A. (2019). AI and education: The importance of teacher and student relations. *AI & SOCIETY*, 34(1), 47– 54. <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0693-8>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Guskey, T. R. (2012). Mastery learning. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning* (pp. 2097– 2100). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1553
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Hakimi, L., Eynon, R., & Murphy, V. A. (2021). The ethics of using digital trace data in education: A thematic review of the research landscape. *Review of Educational Research*, 91(5), 671– 717. <https://doi.org/10.3102/00346543211020116>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Heffernan, N. T., & Heffernan, C. L. (2014). The ASSISTments ecosystem: Building a platform that brings scientists and teachers together for minimally invasive research on human learning and teaching. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 470– 497. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0024-x>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Henry, J. V., & Oliver, M. (2021). Who will watch the watchmen? The Ethico-political arrangements of algorithmic proctoring for academic integrity. *Postdigital Science and Education*, 4, 330– 353. <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00273-1>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Holmes, W., Anastopoulou, S., Schaumburg, H., & Mavrikis, M. (2018). Technology-enhanced personalised learning. Untangling the evidence. Robert Bosch Stiftung. https://www.bosch-stiftung.de/sites/default/files/publications/pdf/2018-08/Study_Technology-enhanced%20Personalised%20Learning.pdf
[Google Scholar](#)
- Holmes, W., Bektik, D., Whitelock, D., & Woolf, B. P. (2018). Ethics in IAEd: Who cares? In C. Penstein Rosé, R. Martínez-Maldonado, H. U. Hoppe, R. Luckin, M. Mavrikis, K. Porayska-Pomsta, B. McLaren, & B. Boulay (Eds.), *Artificial intelligence in education* (Vol. 10948, pp. 551– 553). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93846-2>
[Google Scholar](#)
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in Education: Promises and implications for teaching & learning. The Center for Curriculum Redesign. [Google Scholar](#)
- Holmes, W., Persson, J., Chounta, I.-A., Wasson, B., & Dimitrova, V. (2022). Artificial intelligence and Education. A critical view through the lens of human rights, democracy, and the rule of law. Council of Europe. [Google Scholar](#)
- W. Holmes, & K. Porayska-Pomsta (Eds.). (2023). *The ethics of AI in education. Practices, challenges, and debates.* Routledge. [Google Scholar](#)
- Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Buckingham Shum, S., Santos, O. C., Rodrigo, M. M. T., Cukorova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. (2021). Ethics of AI in education: Towards a community-wide framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32, 504– 526. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00239-1>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)



- Holstein, K., & Doroudi, S. (2021). Equity and artificial intelligence in Education: Will 'IAEd' amplify or alleviate inequities in Education? Cornell University. <http://arxiv.org/abs/2104.12920>
[Google Scholar](#)
- Holstein, K., Hong, G., Tegene, M., McLaren, B. M., & Alevin, V. (2018). The classroom as a dashboard: Co-designing wearable cognitive augmentation for K-12 teachers. In Proceedings of the 8th international conference on learning analytics and knowledge - LAK '18 (pp. 79– 88). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3170358.3170377>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Hsu, S., Li, T. W., Zhang, Z., Fowler, M., Zilles, C., & Karahalios, K. (2021). Attitudes surrounding an imperfect AI autograder. In Proceedings of the 2021 CHI conference on human factors in computing systems (pp. 1– 15). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445424>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Huawei. (2022). StorySign: Helping deaf children to learn to read. Huawei. <https://consumer.huawei.com/uk/campaign/storysign/>
[Google Scholar](#)
- Hussain, A. (2017). Ada—Bolton College's latest digital assistant. *Blogtext*. <http://www.aftabhussain.com/ada.html>
[Google Scholar](#)
- Hwang, G.-J., & Chang, C.-Y. (2021). A review of opportunities and challenges of chatbots in education. *Interactive Learning Environments*, 1– 14. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1952615>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- IBM. (2018). IBM Watson education classroom helps teachers deliver personalized learning that can improve student outcomes. Software announcement. IBM Corporation. https://www.ibm.com/common/ssi/ShowDoc.wss?docURL=/common/ssi/rep_ca/0/897/ENUS218-010/index.html&request_locale=en
[Google Scholar](#)
- IOE (Director). (2018, July 30). Making fractions learning easier. Video. UCL Institute of Education. <https://www.youtube.com/watch?v=0S1IRHvvh9c>
[Google Scholar](#)
- Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). Artificial intelligence: The global landscape of ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389– 399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Joksimovic, S., Siemens, G., Wang, Y. E., Pedro, M. O. Z. S., & Way, J. (2020). Editorial: Beyond cognitive ability. *Journal of Learning Analytics*, 7(1), 1– 4. <https://doi.org/10.18608/jla.2020.71.1>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Kelley, J. (2021, June 22). A long overdue reckoning for online proctoring companies may finally Be here. Blogpost. Electronic Frontier Foundation. <https://www.eff.org/deeplinks/2021/06/long-overdue-reckoning-online-proctoring-companies-may-finally-be-here>
[Google Scholar](#)



- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75– 86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Kitto, K., Sarathy, N., Gromov, A., Liu, M., Musial, K., & Shum, S. B. (2020). Towards skills-based curriculum analytics: Can we automate the recognition of prior learning? In Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Analytics & Knowledge (pp. 171– 180). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3375462.3375526>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Knox, J. (2020). Artificial intelligence and education in China. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 298– 311. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1754236>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Koedinger, K. R., Corbett, A. T., & Perfetti, C. (2012). The knowledge-learning-instruction framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning. *Cognitive Science*, 36(5), 757– 798. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2012.01245.x>
[Wiley Online LibraryPubMedWeb of Science@Google Scholar](#)
- Krahulcova, L. (2021, March 24). Techno solutionism—Very few things actually need to be an app. Blogtext. Digital Rights Watch Website. <https://digitalrightswatch.org.au/2021/03/25/technosolutionism/>
[Google Scholar](#)
- Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42– 78. <https://doi.org/10.3102/0034654315581420>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- LaPierre, J. (2021, January 18). Educational games and AI. Blogtext. Filament Games. <https://www.filamentgames.com/blog/educational-games-and-ai/>
[Google Scholar](#)
- LeCun, Y., & Browning, J. (2022). What AI can tell us about intelligence. Berggruen Institute. <https://www.noemamag.com/what-ai-can-tell-us-about-intelligence>
[Google Scholar](#)
- Lee, K.-F. (2018). AI superpowers: China, Silicon valley and the new world order. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company. [Google Scholar](#)
- Lee, K.-F., & Qiufan, C. (2021). AI 2041: Ten visions for our future. WH Allen. [Google Scholar](#)
- Leetaru, K. (2018). Does AI truly learn and why we need to stop overhyping deep learning. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/kalevleetaru/2018/12/15/does-ai-truly-learn-and-why-we-need-to-stop-overhyping-deep-learning/?sh=1bfc686168c0>
[Google Scholar](#)
- Lemoine, B. (2022, June 14). Scientific data and religious opinions. Blogtext. Medium. <https://cajundiscordian.medium.com/scientific-data-and-religious-opinions-ff9b0938fc10>
[Google Scholar](#)
- Lieu, J. (2018). Eyes to the front camera: Chinese facial recognition tech targets inattentive students. Blogtext. Mashable. <https://mashable.com/article/chinese-facial->



[recognition-class](#)

[Google Scholar](#)

- Lu, Y., Chen, C., Chen, P., Chen, X., & Zhuang, Z. (2018). Smart learning partner: An interactive robot for Education. In C. Penstein Rosé, R. Martínez-Maldonado, H. U. Hoppe, R. Luckin, M. Mavrikis, K. Porayska-Pomsta, B. McLaren, & B. Boulay (Eds.), *Artificial intelligence in education* (pp. 447– 451). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93846-2_84
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. - *PsycNET. Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901– 918.
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Marcinkowski, F., Kieslich, K., Starke, C., & Lünich, M. (2020). Implications of AI (un-)fairness in higher education admissions: The effects of perceived AI (un-)fairness on exit, voice and organizational reputation. In *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 122– 130). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3351095.3372867>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Marcus, G. (2022). Artificial general intelligence is not as imminent as you might think. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/artificial-general-intelligence-is-not-as-imminent-as-you-might-think1/>
[Google Scholar](#)
- Marcus, G., & Davis, E. (2020). GPT-3, bloviator: OpenAI's language generator has no idea what it's talking about. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2020/08/22/1007539/gpt3-openai-language-generator-artificial-intelligence-ai-opinion/>
[Google Scholar](#)
- Mavrikis, M., Rummel, N., Wiedmann, M., Loibl, K., & Holmes, W. (2022). Combining exploratory learning with structured practice educational technologies to foster both conceptual and procedural fractions knowledge. *Educational Technology Research and Development*, 70(3), 691– 712. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10104-0>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- McCorduck, P. (1979). *Machines who think: A personal inquiry into the history and prospects of artificial intelligence*. W.H. Freeman and Company.
[Google Scholar](#)
- McGuire, L. S., & Alaraj, A. (2018). Competency assessment in virtual reality-based simulation in neurosurgical training. In *Comprehensive healthcare simulation: Neurosurgery* (pp. 153– 157). Springer.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Metz, C. (2021, March 15). Who is making sure the a.i. machines Aren't racist? Online article. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2021/03/15/technology/artificial-intelligence-google-bias.html>
[Google Scholar](#)
- Miao, F., & Holmes, W. (2021). AI and education: Guidance for policy-makers. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>
[Google Scholar](#)



- Miguéis, V. L., Freitas, A., Garcia, P. J. V., & Silva, A. (2018). Early segmentation of students according to their academic performance: A predictive modelling approach. *Decision Support Systems*, 115, 36– 51. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.09.001>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- M. Minsky (Ed.). (1969). *Semantic information processing*. The MIT Press.
[Google Scholar](#)
- Moki. (2022). Moki—The fitness tracker for schools. Moki. <https://moki.health/>
[Google Scholar](#)
- Molenaar, I. (2022). Towards hybrid human-AI educational scenarios. *European Journal of Education*, 57(4).
[Google Scholar](#)
- Moriarty-McLaughlin, F. (2020). More colleges eye AI to track, monitor students. The College Fix. <https://www.thecollegefix.com/more-colleges-eye-ai-to-track-monitor-students/>
[Google Scholar](#)
- Naismith, B., & Juffs, A. (2021). Finding the sweet spot: Learners' productive knowledge of mid-frequency lexical items. *Language Teaching Research*, 13621688211020412. <https://doi.org/10.1177/13621688211020412>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Nemorin, S., Vlachidis, A., Ayerakwa, H. M., & Andriotis, P. (2022). AI hyped? A horizon scan of discourse on artificial intelligence in education (IAEd) and development. Online article. *Learning, Media and Technology*, 1– 14. <https://doi.org/10.1080/17439884.2022.2095568>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- NeuroMaker. (2022). NeuroMaker BCI. NeuroMaker. <https://staging4.neuromakerstem.com/neuromaker-bci/>
[Google Scholar](#)
- Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. A. (1959). Report on a general problem-solving program. RAND Corporation. http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/rand/ipl/P-1584_Report_On_A_General_Problem-Solving_Program_Feb59.pdf
[Google Scholar](#)
- Nigam, A., Pasricha, R., Singh, T., & Churi, P. (2021). A systematic review on AI-based proctoring systems: Past, present and future. *Education and Information Technologies*, 26(5), 6421– 6445. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10597-x>
[CrossrefPubMedWeb of Science@Google Scholar](#)
- Nye, B. D., Graesser, A. C., & Hu, X. (2014). AutoTutor and family: A review of 17 years of natural language tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 427– 469. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0029-5>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- OECD. (2019a). Scoping the OECD AI principles: Deliberations of the expert group on artificial intelligence at the OECD (AIGO). OECD. https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/scoping-the-oecd-ai-principles_d62f618a-en
[Google Scholar](#)
- OECD. (2019b). Recommendation of the council on artificial intelligence. Author. <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
[Google Scholar](#)



- OECD. (2020). Trustworthy artificial intelligence in Education. Author. <https://www.oecd.org/education/trustworthy-artificial-intelligence-in-education.pdf>
[Google Scholar](#)
- OECD. (2021). OECD digital Education outlook 2021: Pushing the Frontiers with artificial intelligence, blockchain and robots. OECD. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
[Google Scholar](#)
- Palmer, M. (2006). Data is the new oil. Blogtext. ANA Marketing Maestros. https://ana.blogs.com/maestros/2006/11/data_is_the_new.html
[Google Scholar](#)
- Pane, J. F., Griffin, B. A., McCaffrey, D. F., Karam, R., & Education, R. (2013). Effectiveness of cognitive tutor algebra I at scale. RAND Education. http://130.154.3.14/content/dam/rand/pubs/working_papers/WR900/WR984/RAND_WR984.pdf
[Google Scholar](#)
- Pangburn, D. J. (2019). Schools are using AI to help pick students. What could go wrong? Fast Company. <https://www.fastcompany.com/90342596/schools-are-quietly-turning-to-ai-to-help-pick-who-gets-in-what-could-go-wrong>
[Google Scholar](#)
- Pardos, Z. A., & Nam, A. J. H. (2020). A university map of course knowledge. *PLoS One*, 15(9), e0233207. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233207>
[CrossrefCASPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Pask, G. (1982). SAKI: Twenty-five years of adaptive training into the microprocessor era. *International Journal of Man-Machine Studies*, 17(1), 69– 74. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(82\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(82)80009-6)
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Perez, C. (2002). Technological revolutions and financial capital: The dynamics of bubbles and Golden ages. Edward Elgar.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Pérez, J. Q., Daradoumis, T., & Puig, J. M. M. (2020). Rediscovering the use of chatbots in education: A systematic literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(6), 1549– 1565. <https://doi.org/10.1002/cae.22326>
[Wiley Online LibraryWeb of Science®Google Scholar](#)
- Perrotta, C., Gulson, K. N., Williamson, B., & Witzemberger, K. (2021). Automation, APIs and the distributed labour of platform pedagogies in Google classroom. *Critical Studies in Education*, 62(1), 97– 113. <https://doi.org/10.1080/17508487.2020.1855597>
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Photomath. (2022). Photomath. <https://photomath.com/en>
[Google Scholar](#)
- Plagiarism Checker X. (2022). Plagiarism Checker X. <https://plagiarismcheckerx.com>
[Google Scholar](#)
- Plato. (257 C.E.). Phaedrus. In J. M. Cooper (Ed.), *Plato: Complete works*. Hackett Publishing.
[Google Scholar](#)
- Polya, G. (1945). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press.
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)



- Poulsen, A. T., Kamronn, S., Dmochowski, J., Parra, L. C., & Hansen, L. K. (2017). EEG in the classroom: Synchronised neural recordings during video presentation. *Scientific Reports*, 7, 43916 10.1038/srep43916.
[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Pressey, S. L. (1926). A simple device for teaching, testing, and research in learning. *School and Society*, 23, 373– 376.
[Web of Science®Google Scholar](#)
- Prinsloo, P., & Slade, S. (2017). Ethics and learning analytics: Charting the (un)charted. In C. Lang, G. Siemens, A. Wise, & D. Gašević (Eds.), *Handbook of learning analytics* (pp. 49– 57). SOLAR.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Quach, K. (2020, November 4). AI me to the Moon ... Carbon footprint for 'training GPT-3' same as driving to our natural satellite and back. *The Register*.
https://www.theregister.com/2020/11/04/gpt3_carbon_footprint_estimate/
[Google Scholar](#)
- Quille, K., & Bergin, S. (2019). CS1: How will they do? How can we help? A decade of research and practice. *Computer Science Education*, 29(2–3), 254– 282.
<https://doi.org/10.1080/08993408.2019.1612679>
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Ramesh, D., & Sanampudi, S. K. (2021). An automated essay scoring systems: A systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 2495– 2527.
<https://doi.org/10.1007/s10462-021-10068-2>
[CrossrefPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Roschelle, J., Feng, M., Murphy, R. F., & Mason, C. A. (2016). Online mathematics homework increases student achievement. *AERA Open*, 2(4), 2332858416673968 10.1177/2332858416673968.
[CrossrefWeb of Science®Google Scholar](#)
- Roschelle, J., Murphy, R., Feng, M., & Bakia, M. (2017). How big is that? Reporting the effect size and cost of ASSISTments in the Maine homework efficacy study. SRI International. <https://www.sri.com/publication/education-learning-pubs/digital-learning-pubs/how-big-is-that-reporting-the-effect-size-and-cost-of-assistments-in-the-main-homework-efficacy-study/>
[Google Scholar](#)
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65, 386– 408.
[CrossrefCASPubMedWeb of Science®Google Scholar](#)
- Salesforce. (2022). Salesforce.org.
<https://www.salesforce.com/uk/form/sfdo/edu/education-cloud-demo-emea/>
[Google Scholar](#)
- SayHi. (2022). SayHi translate. <https://www.sayhi.com/en/translate/>. Amazon Inc.
[Google Scholar](#)
- Schaffer, S. (1999). Enlightened automata. In W. Clark, J. Golinski, & S. Schaffer (Eds.), *The sciences in enlightened Europe*. The University of Chicago Press.
<https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo3623650.html>
[Google Scholar](#)



- Selwyn, N. (2019). Should robots replace teachers?: AI and the future of education. Polity.
[Google Scholar](#)
- Sharples, M. (2022, May 17). New AI tools that can write student essays require educators to rethink teaching and assessment. Blogtext. London School of Economics and Political Science. <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2022/05/17/new-ai-tools-that-can-write-student-essays-require-educators-to-rethink-teaching-and-assessment/>
[Google Scholar](#)
- Siemens, G., & Baker, R. S. (2012). Learning analytics and educational data mining: Towards communication and collaboration. In Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge (pp. 252– 254). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2330601.2330661>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science*, 128(3330), 969– 977.
[CrossrefCASPubMedWeb of Science@Google Scholar](#)
- Slade, S., & Tait, A. (2019). Global guidelines: Ethics in learning analytics. International Council for Open and Distance Education. <https://www.learntechlib.org/p/208251/>
[Google Scholar](#)
- Song, Y. (2021). A review of how class orchestration with technology has been conducted for pedagogical practices. *Educational Technology Research and Development*, 69(3), 1477– 1503. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10001-y>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Songer, N. B., Newstadt, M. R., Lucchesi, K., & Ram, P. (2020). Navigated learning: An approach for differentiated classroom instruction built on learning science and data science foundations. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2(1), 93– 105.
<https://doi.org/10.1002/hbe2.169>
[Wiley Online LibraryGoogle Scholar](#)
- Sparkes, M. (2021). Why is Facebook ditching face recognition and will it delete my data? *New Scientist*. <https://www.newscientist.com/article/2295967-why-is-facebook-ditching-face-recognition-and-will-it-delete-my-data/>
[Google Scholar](#)
- Sparkes, M. (2022). Sentient AI: Has Google's LaMDA artificial intelligence really come to life? *New Scientist*. <https://www.newscientist.com/article/2323905-has-googles-lambda-artificial-intelligence-really-achieved-sentience/>
[Google Scholar](#)
- Sperling, K., Stenliden, L., Nissen, J., & Heintz, F. (2022). Still w(AI)ting for the automation of teaching: An exploration of machine learning in Swedish primary education using actor-network-theory. *European Journal of Education*, 57(4), in press.
[Google Scholar](#)
- Statista. (2022). Total global AI investment 2015–2021. <https://www.statista.com/statistics/941137/ai-investment-and-funding-worldwide/>. Statista.
[Google Scholar](#)
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. Cornell University. <http://arxiv.org/abs/1906.02243>
[CrossrefGoogle Scholar](#)



- Susskind, Z., Arden, B., John, L. K., Stockton, P., & John, E. B. (2021). Neuro-symbolic AI: An emerging class of AI workloads and their characterization. Cornell University. <http://arxiv.org/abs/2109.06133>
[Google Scholar](#)
- Tencent. (2022). Tencent docs. Support for multiple online editing of Word, Excel and PPT documents. <https://docs.qq.com/>
[Google Scholar](#)
- Thomas, M. S. C., & Porayska-Pomsta, K. (2022). Neurocomputational methods. From models of brain and cognition to artificial intelligence in Education. In O. Houdé & G. Borst (Eds.), *The Cambridge handbook of cognitive development (part III-Education and school-learning domains*, p. 29). Cambridge University Press.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- TikTok. (2022). TikTok—Make your day. TikTok. <https://www.tiktok.com/>
[Google Scholar](#)
- Tsamados, A., Aggarwal, N., Cows, J., Morley, J., Roberts, H., Taddeo, M., & Floridi, L. (2022). The ethics of algorithms: Key problems and solutions. *AI & SOCIETY*, 37(1), 215– 230.
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Tuomi, I. (2018). The impact of artificial intelligence on learning, teaching, and EDUCATION. European Union Joint Research Centre. Publications Office of the European Union.
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113226/jrc113226_jrcb4_the_impact_of_artificial_intelligence_on_learning_final_2.pdf
[Google Scholar](#)
- Tuomi, I. (2020). The use of artificial intelligence (AI) in education. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies.
<https://bit.ly/3ICMotK>
[Google Scholar](#)
- Tuomi, I. (2022). Artificial intelligence, 21st century competences, and socio-emotional learning in education: More than high-risk? *European Journal of Education*, 57(4), in press.
[Google Scholar](#)
- Tuomi, I. (forthcoming). A framework for socio-developmental ethics in educational AI. In Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Science. Maui, January 3-6, 2023.
[Google Scholar](#)
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433– 460.
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Turnitin. (2022). Turnitin. <https://turnitin.com/>
[Google Scholar](#)
- UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. Author.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379920>
[Google Scholar](#)
- UNICEF. (2021). Policy guidance on AI for children. Author.
<https://www.unicef.org/globalinsight/media/2356/file/UNICEF-Global-Insight-policy-guidance-AI-children-2.0-2021.pdf.pdf>
[Google Scholar](#)



- UNICEF. (2022). Trends in digital personalized learning in low- and middle-income countries. UNICEF. <https://www.unicef.org/globalinsight/media/2756/file/UNICEF-Global-Insight-Digital-PL-LMIC-executive-summary-2022.pdf>
[Google Scholar](#)
- United Nations. (1948). Universal declaration of human rights. Author. <https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
[Google Scholar](#)
- United Nations. (1989). Convention on the rights of the child. Author. <https://www.ohchr.org/EN/ProfessionalInterest/Pages/CRC.aspx>
[Google Scholar](#)
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197– 221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- VanLehn, K., Burkhardt, H., Cheema, S., Kang, S., Pead, D., Schoenfeld, A., & Wetzel, J. (2019). Can an orchestration system increase collaborative, productive struggle in teaching-by-eliciting classrooms? *Interactive Learning Environments*, 29(6), 987– 1005. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1616567>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Verbert, K., Ochoa, X., De Croon, R., Dourado, R. A., & De Laet, T. (2020). Learning analytics dashboards: The past, the present and the future. In Proceedings of the tenth international conference on Learning Analytics & Knowledge (pp. 35– 40). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3375462.3375504>
[CrossrefGoogle Scholar](#)
- Vuorikari, R., & Holmes, W. (2022). DigComp 2.2. Annex 2. Citizens interacting with AI systems. In R. Vuorikari, S. Kluzer, & Y. Punie (Eds.), DigComp 2.2, the digital competence framework for citizens: With new examples of knowledge, skills and attitudes (pp. 72– 82). Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/115376>
[Google Scholar](#)
- Wall Street Journal. (2019). How China is using artificial intelligence in classrooms. Video. Author. <https://www.youtube.com/watch?v=JMLsHI8aV0g>
[Google Scholar](#)
- Waters, A., & Miiikkulainen, R. (2014). GRADE: Machine learning support for graduate admissions. *AI Magazine*, 35(1), 64. <https://doi.org/10.1609/aimag.v35i1.2504>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Watters, A. (2015, March 12). A brief history of calculators in the classroom. Blogtext. <http://hackeducation.com/2015/03/12/calculators>
[Google Scholar](#)
- Watters, A. (2021). Teaching machines: The history of personalized learning. MIT Press. [CrossrefGoogle Scholar](#)
- WeChat. (2022). WeChat. <https://www.wechat.com/>
[Google Scholar](#)
- What Works Clearinghouse. (Ed.). (2016). Cognitive tutor®. What works clearinghouse intervention report. What Works Clearinghouse (ED).
[Google Scholar](#)



- WhatsApp. (2022). WhatsApp. WhatsApp.Com. <https://www.whatsapp.com/>
[Google Scholar](#)
- Williamson, B. (2017). Big data in Education. SAGE.
[Google Scholar](#)
- Williamson, B. (2021, May 28). Google's plans to bring AI to education make its dominance in classrooms more alarming. *Fast Company*.
<https://www.fastcompany.com/90641049/google-education-classroom-ai>
[Google Scholar](#)
- Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 223– 235.
<https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Winograd, T., & Flores, F. (1986). Understanding computers and cognition: A new foundation for design. Ablex Publishing Corporation.
[Google Scholar](#)
- X5GON. (2022). X5GON. Website. [Artificial Intelligence and open educational resources]. <https://www.x5gon.org/>
[Google Scholar](#)
- XPRIZE. (2015). XPRIZE. <https://www.xprize.org/prizes/global-learning>
[Google Scholar](#)
- Yeung, K. (2019). A study of the implications of advanced digital technologies (including AI systems) for the concept of responsibility within a human rights framework. Council of Europe study DGI(2019)05. Council of Europe.
[Google Scholar](#)
- YouTube. (2022). YouTube. <https://www.youtube.com/>
[Google Scholar](#)
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)
- Zembylas, M. (2021). A decolonial approach to AI in higher education teaching and learning: Strategies for undoing the ethics of digital neocolonialism. *Learning, Media and Technology*, 1– 13. <https://doi.org/10.1080/17439884.2021.2010094>
[CrossrefWeb of Science@Google Scholar](#)



A consulter aussi

Alexandre Lepage (Réalisateur). (2022, mars 3). **L'intelligence artificielle en éducation.** <https://www.youtube.com/watch?v=ZAtu0xllcls>

Allouche, E. (2023, janvier 4). Sens et finalités du numérique en éducation – Hors-série : Tests **et simulations d'« entretiens »** avec ChatGPT (Open AI) [Billet]. Éducation, numérique et recherche. <https://edunumrech.hypotheses.org/7635>

Traduction anglaise : <https://edunumrech.hypotheses.org/8034>

Association for the Advancement of Artificial Intelligence, & Computer Science Teachers Association. (2020). AI4K12. AI4K12. <https://ai4k12.org/>

Association **Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA).** (2022, janvier 6). **Journée Enseignement et Formation en IA : « IA pour l'enseignement ».** AfIA. <https://afia.asso.fr/efia-2022/>

Bachimont, B. (2014). **L'ingénierie des connaissances : Un programme scientifique ?** *Intellectica*, 61(1), 211-235. <https://doi.org/10.3406/intel.2014.1044>

Benbouzid, B., & Cardon, D. (2018). Machines à prédire. *Réseaux*, 211(5), 9-33. <https://doi.org/10.3917/res.211.0009>

Bocquet, F. (2020, juillet 9). **L'intelligence artificielle de la maternelle à la Terminale : Que devrait savoir chaque enfant sur l'IA ?** [Billet]. Éducation, numérique et recherche. <https://edunumrech.hypotheses.org/1970>

Boullier, D. (2016). *Sociologie du numérique.* A. Colin, DL 2016.

Cardon, D., Cointet, J.-P., & Mazieres, A. (2018). La revanche des neurones : L'invention des machines inductives et la controverse de l'intelligence artificielle. *Réseaux*, 5(211). <https://doi.org/10.3917/res.211.0173>

Cheng, E. C. K., Koul, R. B., Wang, T., & Yu, X. (Éds.). (2022). *Artificial Intelligence in Education : Emerging Technologies, Models and Applications: Proceedings of 2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Education Technology (Vol. 104).* Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-7527-0>

Chevret-Castellani, C., Labelle, S., & Remond, É. (Éds.). (2022). De la régulation de **l'intelligence artificielle dans le domaine éducatif.** *Communication, technologies et développement*, 12.

Cisel, M., & Baron, G.-L. (2019). Utilisation de tableaux de **bord numériques pour l'évaluation** des compétences scolaires : Une étude de cas. *Questions Vives. Recherches en éducation*, N° 31, Art. N° 31. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.3883>



CMEPIUS Erasmus+ (Réalisateur). (2022, janvier 13). Wayne Holmes : How can AI support teachers in their teaching? <https://www.youtube.com/watch?v=18Ho4AKSdsM>

Collin, S., & Marceau, E. (2021). *L'intelligence artificielle en éducation* : Enjeux de justice. *Formation et profession*, 29(2), 1. <https://doi.org/10.18162/fp.2021.a230>

de la Higuera, C., & Bocquet, F. (2020, juillet 9). *L'éducation, la formation des enseignants et l'apprentissage de l'intelligence artificielle* : Un aperçu des questions clés [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/1973>

de la Higuera, C., & DNE-TN2. (2022, janvier 10). Intelligence artificielle et éducation – GNum #IA_EO : Conférence de Colin de la Higuera [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/3837>

DNE-TN2. (2021a, mai 18). IA et éducation : Ressources, pratiques et acteurs – #GNum #Scol_IA [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/3030>

DNE-TN2. (2021b, juin 30). Le deep learning, un tournant épistémologique pour les SHS ? (Huma-Num LAB, 2020) [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/3203>

DNE-TN2. (2022, janvier 20). *Les enjeux éducatifs à l'ère de l'Intelligence Artificielle* : GNum #Scol_IA – Maison de l'Intelligence artificielle [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/3898>

DNE-TN2. (2023, janvier 12). Intelligence artificielle, traitement automatique des langues et agents conversationnels [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/8235>

European Commission. Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture. (2022). *Lignes directrices éthiques sur l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) et des données dans l'enseignement et l'apprentissage à l'intention des éducateurs*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/153756>

Ferri, F. (2020). De la raison graphique à la raison computationnelle : Une brève préhistoire de l'intelligence artificielle. *Interfaces numériques*, 9(1), Art. 1. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.4125>

Grand lexique français de l'Intelligence artificielle. (2021). DataFranca Wiki. <https://datafranca.org/wiki/Accueil>

Holmes, W., Persson, J., Chounta, I.-A., Wasson, B., & Dimitrova, V. (2022). Artificial intelligence and education—A critical view through the lens of human rights, democracy and the rule of law. Council of Europe. <https://rm.coe.int/artificial-intelligence-and-education-a-critical-view-through-the-lens/1680a886bd>



Inria. (2020). **L'Intelligence Artificielle... avec intelligence !** (MOOC). FUN-MOOC. //www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41021+session01/about

Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Gasevic, D., Kay, J., Knight, S., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., & Tsai, Y.-S. (2022). Explainable Artificial Intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>

Le Cun, Y. (2016, février 4). **L'apprentissage profond : Une révolution en intelligence artificielle.** Collège de France. <https://www.college-de-france.fr/agenda/lecon-inaugurale/apprentissage-profond-une-revolution-en-intelligence-artificielle/apprentissage-profond-une-revolution-en-intelligence-artificielle>

Le Cun, Y., Brizard, C., & Brizard, C. (2019). *Quand la machine apprend : La révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond.* Odile Jacob.

Le Métayer, D. (2020). Séminaire intelligence artificielle—Séance 1 – **État de l'art, état des forces. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle en 2020 ?** (7 octobre 2020). Sciences Po Lyon - Chaire Transformations de l'action publique. <https://chaire-actionpublique.fr/seminaire-intelligence-artificielle/>

Lettre ÉduNum thématique sur l'intelligence artificielle. (2021). éducol | Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports - Direction générale de l'enseignement scolaire. <https://eduscol.education.fr/2472/lettres-edunum-thematiques-ressources-et-1er-degre>

Romero, M., Aloui, H., Heiser, L., Galindo, L., & Lepage, A. (2021). Un bref parcours sur les ressources, pratiques et acteurs en IA et éducation. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03190014>

Selwyn, N. (2022). The future of AI and education : Some cautionary notes. *European Journal of Education*. <https://doi.org/10.1111/ejed.12532>

UNESCO. (2019). **Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation.** UNESCO Bibliothèque Numérique. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>

UNICEF. (2021, novembre). **Orientations stratégiques sur l'IA destinée aux enfants 2.0.** UNICEF. <https://www.unicef.org/globalinsight/fr/rapports/orientations-strat%C3%A9giques-sur-lia-destin%C3%A9e-aux-enfants>