

IA et éducation

Guide pour les décideurs politiques



L'UNESCO : chef de file pour l'éducation

L'éducation est la priorité absolue de l'UNESCO car c'est un droit humain fondamental qui constitue la pierre angulaire de la paix et du développement durable. L'UNESCO est l'agence des Nations Unies spécialisée pour l'éducation. Elle assure un rôle moteur aux niveaux mondial et régional pour renforcer le développement, la résilience et la capacité des systèmes nationaux d'éducation au service de tous les apprenants. L'UNESCO dirige également les efforts pour répondre aux défis mondiaux actuels par le biais de l'apprentissage transformateur, en mettant particulièrement l'accent dans toutes ses actions sur l'égalité des genres et l'Afrique.



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

L'agenda mondial Éducation 2030

En tant qu'institution des Nations Unies spécialisée pour l'éducation, l'UNESCO est chargée de diriger et de coordonner l'agenda Éducation 2030, qui fait partie d'un mouvement mondial visant à éradiquer la pauvreté, d'ici à 2030, à travers 17 Objectifs de développement durable. Essentielle pour atteindre chacun de ces objectifs, l'éducation est au cœur de l'Objectif 4 qui vise à « *assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie* ». Le Cadre d'action Éducation 2030 définit des orientations pour la mise en œuvre de cet objectif et de ces engagements ambitieux.



Publié en 2021 par l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) -
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2021

ISBN 978-92-3-200244-0



Œuvre publiée en libre accès sous la licence Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). Les utilisateurs du contenu de la présente publication acceptent les termes d'utilisation de l'Archive ouverte de libre accès UNESCO (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-fr).

Titre original : *AI and education: Guidance for policy-makers*

Publié en 2021 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Les désignations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation.

Auteurs : Fengchun Miao, Wayne Holmes, Ronghuai Huang, Hui Zhang

Traduction : Catherine Alice Dhaussy

La traduction du Guide en français a fait l'objet d'une relecture technique, sous l'égide de l'UNESCO, par des experts du programme Knowledge and Innovation Exchange (KIX) Afrique 21 piloté par le consortium composé de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), la Conférence des ministres de l'Éducation des États et gouvernements de la Francophonie (CONFEMEN) et l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF) à travers l'Institut de la Francophonie pour l'éducation et la formation (IFEFF).

Crédits de la couverture : SChompoongam/Shutterstock.com, Lidia/Shutterstock.com et illustrator096/Shutterstock.com

Mise en page : Anna Mortreux

Imprimé dans les ateliers de l'UNESCO

Imprimé en France

RÉSUMÉ

IA et éducation : Promesses et implications

L'intelligence artificielle (IA) a tout le potentiel pour relever certains des plus grands défis liés à l'éducation du XXI^e siècle, pour innover dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage et, en dernière instance, pour accélérer les progrès vers l'ODD 4. Cependant, et de manière inévitable, ces développements technologiques rapides entraînent de multiples risques et défis, qui ont jusqu'à présent dépassé les débats politiques et les cadres réglementaires.

Cette publication offre des conseils aux décideurs politiques sur la meilleure façon de tirer parti des opportunités et de faire face aux risques présentés par les liens de plus en plus étroits qui unissent l'IA et l'éducation.

Elle s'ouvre avec les éléments essentiels de l'IA : définitions, techniques et technologies. Elle se poursuit avec une analyse détaillée des tendances émergentes et des implications de l'IA sur l'enseignement et l'apprentissage, y compris la manière dont nous pouvons garantir l'utilisation éthique, inclusive et équitable de l'IA dans le champ éducatif, comment l'éducation peut préparer les humains à vivre et à travailler avec l'IA, et comment l'IA peut être mise en œuvre en vue d'améliorer l'éducation. Elle termine avec les défis que représente l'exploitation de l'IA pour atteindre l'ODD 4 et propose des recommandations concrètes et exploitables à l'intention des décideurs pour les aider à planifier des politiques et des programmes adaptés aux contextes locaux.

On estime à
6 milliards
de dollars la valeur que
représentera l'IA dans
l'éducation en 2024.



unesco

« Les guerres prenant naissance dans l'esprit des hommes et des femmes, c'est dans l'esprit des hommes et des femmes que doivent être élevées les défenses de la paix. »

IA et éducation

Guide pour les décideurs politiques

Avant-propos

Le développement rapide de l'intelligence artificielle (IA) exerce une influence majeure sur l'éducation. Les progrès des solutions alimentées par l'IA recèlent un énorme potentiel en faveur du bien social et de la réalisation des objectifs de développement durable. Pour transformer ce potentiel, il est nécessaire de procéder à des ajustements politiques systémiques, de mettre en place une surveillance éthique rigoureuse et d'assurer un engagement approfondi avec les praticiens et les chercheurs du monde entier.

Les décideurs politiques et les éducateurs ont pénétré dans un territoire inexploré qui soulève des questions fondamentales sur les interactions entre l'apprentissage et l'IA. L'essentiel reste que le déploiement et l'utilisation de l'IA dans l'éducation doivent être guidés par les principes fondamentaux d'inclusion et d'équité. Pour ce faire, les politiques doivent promouvoir un accès équitable et inclusif à l'IA et l'utilisation de l'IA comme un bien public, en mettant l'accent sur l'autonomisation des filles et des femmes, ainsi que celle des groupes défavorisés sur le plan socio-économique. L'utilisation croissante des nouvelles technologies de l'IA dans l'éducation ne profitera à l'ensemble de l'humanité que si – par essence – elle renforce les approches pédagogiques centrées sur l'humain et respecte les normes et standards éthiques. L'IA devra être orientée vers l'amélioration de l'apprentissage pour chaque étudiant, l'autonomisation des enseignants et le renforcement des systèmes de gestion de l'apprentissage. Au-delà de ces objectifs, préparer les étudiants et tous les citoyens à vivre et à travailler en toute sécurité et efficacement avec l'IA constitue un défi partagé à l'échelle mondiale.

Les futurs systèmes d'apprentissage et de formation doivent doter tous les individus de compétences fondamentales en matière d'IA, notamment en ce qui concerne la compréhension de la manière dont l'IA collecte et peut manipuler les données ; des compétences seront également indispensables pour assurer la sécurité et la protection des données personnelles. Enfin, l'IA transcendant par essence les frontières entre secteurs, la planification de politiques efficaces en matière d'IA et d'éducation nécessite une consultation et une collaboration avec les parties prenantes de toutes les disciplines et de tous les secteurs.

L'UNESCO a joué un rôle de premier plan dans la promotion du dialogue et des connaissances dans tous les domaines, en coopération avec des acteurs-clefs des secteurs public et privé. Un certain nombre de manifestations et de publications ont permis de sensibiliser aux vastes possibilités et implications

de l'IA pour l'éducation, et ont aidé les États membres à commencer à relever des défis complexes. En 2019, la relation entre l'IA et le développement durable a été explorée lors de la « Semaine de l'apprentissage mobile », événement phare des Nations Unies sur les technologies de l'information et de la communication dans l'éducation.



La même année, en coopération avec le gouvernement de la République populaire de Chine, l'UNESCO a organisé la « Conférence internationale sur l'intelligence artificielle et l'éducation » à Pékin, sur le thème « Planifier l'éducation à l'ère de l'IA : Un bond en avant ». Cette conférence a examiné les impacts systémiques de l'IA sur l'éducation ; c'est aussi à cette occasion que le Consensus de Beijing a été adopté et publié en tant que tout premier document proposant des recommandations quant à la meilleure façon d'exploiter les technologies de l'IA au service de l'éducation dans le cadre de l'ODD 4-Éducation 2030. Le Consensus de Beijing recommande notamment à l'UNESCO d'élaborer des lignes directrices et de créer des ressources pour renforcer les capacités des décideurs en matière d'éducation et soutenir l'intégration des compétences en IA dans les cadres de compétences en TIC. Plus largement, il invite l'UNESCO à adopter une approche globale pour renforcer la coopération internationale, avec les partenaires concernés, dans le domaine de l'IA et de l'éducation.

« L'IA et l'éducation : Guide à l'intention des décideurs » est un document conçu dans le cadre de la mise en œuvre du Consensus de Beijing, visant à favoriser la préparation des décideurs politiques à l'IA dans le domaine de l'éducation. Il vient s'ajouter à l'ensemble des travaux de recherche de l'UNESCO dans ce domaine et intéressera l'ensemble des praticiens et professionnels agissant dans les milieux de l'élaboration des politiques ou de l'éducation. Il vise à poser les bases d'une compréhension commune des opportunités offertes par l'IA pour l'éducation, ainsi que de ses implications relatives aux compétences essentielles requises à l'ère de l'IA.

Il présente une évaluation des avantages et des risques afin de susciter une réflexion critique sur la manière dont l'IA pourrait être exploitée pour relever les défis liés à la réalisation des objectifs de l'ODD 4, et sur la façon dont les risques potentiels pourraient être découverts et atténués. Il présente également les politiques nationales émergentes et les meilleures pratiques relatives à l'utilisation de l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage. Cette publication peut aussi servir de guide pour l'élaboration de politiques en matière d'IA et d'éducation, à partir de la planification d'objectifs humanistes et stratégiques et jusqu'à la définition d'éléments-clés de la politique de construction et de stratégies pour la mettre en œuvre.

J'espère ainsi que les questions politiques les plus cruciales, l'analyse des enseignements tirés de l'expérience et l'approche politique humaniste partagées ici aideront les gouvernements et les partenaires à développer l'IA de manière à transformer les systèmes d'éducation et de formation pour le bien commun, et pour un avenir inclusif et durable.



Stefania Giannini

Sous-Directrice générale pour l'éducation
UNESCO

Remerciements

Cette publication représente l'effort collectif d'experts issus des communautés de l'IA et de l'éducation.

Le cadre de la publication a été conceptualisé par Fengchun Miao, chef de l'unité de l'UNESCO pour la technologie et l'IA dans l'éducation, et Wayne Holmes, ancien chercheur principal en éducation pour Nesta, au Royaume-Uni. Ils ont également été les principaux auteurs de la publication. Les deux autres auteurs sont Ronghuai Huang et Hui Zhang, qui travaillent à la Normal University de Pékin, en Chine.

Membres de l'équipe de l'Unité pour la technologie et l'IA dans l'éducation ayant coordonné la révision et la production de la publication : Huhua Fan, Samuel Grimonprez, Shutong Wang, Veronica Cucuiat et Glen Hertelendy.

Spécialistes de l'UNESCO ayant fourni des contributions et des évaluations par les pairs : Borhene Chakroun, directeur de la division Politiques et Systèmes d'apprentissage tout au long de la vie ; Sobhi Tawil, directeur de la division Avenir de l'apprentissage et de l'innovation ; Keith Holmes, spécialiste de programme dans l'équipe Avenir de l'apprentissage et de l'innovation ; Julia Heiss, spécialiste de programme au bureau de Harare ; Natalia Amelina, responsable nationale principale de projet en éducation à l'ITIE ; Valtencir M. Mendes, responsable principal de programme à la division Politiques et systèmes d'apprentissage tout au long de la vie, et Elspeth McOmish, spécialiste de programme à la division pour l'Égalité des genres.

Experts externes ayant fourni des contributions utiles à cette publication : Ethel Agnes Pascua-Valenzuela, directrice du secrétariat des Organisations des ministres de l'Éducation de l'Asie du Sud-Est ; Jianhua Zhao, professeur à la Southern University of Science and Technology de Chine ; Shafika Isaacs, chercheur associé à l'université de Johannesburg ; Werner Westermann, chef du programme d'éducation civique à la bibliothèque du Congrès du Chili ; Mike Sharples, professeur émérite de technologie éducative à l'Open University du Royaume-Uni.

Nous exprimons également notre gratitude à Jenny Webster pour la révision et la correction du texte original en anglais, ainsi qu'à Anna Mortreux pour la conception de la mise en page.

L'UNESCO tient à remercier le Weidong Group de Chine, qui a rendu cette publication possible grâce à son soutien financier à l'UNESCO. Ce soutien financier aide également les États membres à tirer parti de la technologie et de l'IA pour atteindre l'Objectif de développement durable 4.

IA et éducation

Guide pour les décideurs politiques

Table des matières

Avant-propos	4
Remerciements	6
Liste des sigles et acronymes	8
1. Introduction	9
2. L'essentiel de l'IA pour les décideurs politiques	10
2.2 Brève introduction aux techniques de l'IA	12
2.3 Brève introduction aux technologies de l'IA	14
2.4 Les possibles tendances dans le développement de l'IA : l'IA « faible » et l'IA « forte »	15
2.5 Une vision critique des capacités et des limites de l'IA	15
2.6 L'intelligence collaborative homme-machine	16
2.7 La Quatrième Révolution industrielle et les conséquences de l'IA sur l'emploi	17
3. Comprendre l'IA et l'éducation : pratiques émergentes et évaluation des avantages et des risques	18
3.1 Comment l'IA peut-elle être mise à profit pour améliorer l'éducation ?	19
L'utilisation de l'IA pour la gestion de services éducatifs et leur mise en œuvre	19
L'utilisation de l'IA pour l'apprentissage et l'évaluation	20
L'utilisation de l'IA pour renforcer les capacités et compétences des enseignants et améliorer l'enseignement	24
3.2 Comment l'IA peut-elle être exploitée au mieux pour le bien commun dans le champ éducatif ?	25
3.3 Comment pouvons-nous garantir l'utilisation éthique, inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation ?	26
3.4 Comment l'éducation peut-elle préparer les humains à vivre et à travailler avec l'IA ?	30
4. Les défis de la maîtrise de l'IA pour atteindre l'ODD 4	33
4.1 Éthique des données et biais algorithmiques	33
4.2 L'IA équitable entre les genres et pour l'égalité des sexes	33
4.3 Suivi, évaluation et recherche sur l'utilisation de l'IA dans l'éducation	34
4.4 Quel impact l'IA aura-t-elle sur le rôle des enseignants ?	35
4.5 Quel impact l'IA aura-t-elle sur l'autonomie et l'organisation des apprenants ?	35
5. Examen des réponses politiques	36
5.1 Approches des réponses politiques	36
5.2 Préoccupations communes	38
5.3 Financements, partenariats et coopération internationale	39
6. Recommandations politiques	40
6.1 Une vision et des priorités stratégiques à l'échelle systémique	40
6.2 Principe directeur en matière de politiques d'IA et d'éducation	41
6.3 Planification interdisciplinaire et gouvernance intersectorielle	41
6.4 Politiques et réglementations pour une utilisation équitable, inclusive et éthique de l'IA	42
6.5 Plans directeurs pour l'utilisation de l'IA dans la gestion de l'éducation, l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation.	43
6.6 Essais pilotes, suivi et évaluation, et constitution d'une base de données fiable	47
6.7 Encourager les innovations locales en matière d'IA pour l'éducation	48
7. Références	49
Notes	55

Liste des sigles et acronymes (anglais entre parenthèses)

AA	Apprentissage automatique (<i>ML</i>)
AI TA	Assistant d'enseignement de l'IA (<i>AI Teaching Assistant</i>)
API	Application Programming Interface ou Application Program Interface
COMEST	Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies
DigComp	Cadre européen des compétences numériques (<i>Digcom</i>)
DOAM	Cadre DOAM de l'UNESCO « Droits de l'homme, Ouverture, Accessibilité et gouvernance Multipartite »
EEG	Electroencéphalographie (<i>EEG</i>)
EFTP	Enseignement et de la formation techniques et professionnels (<i>TVET</i>)
EAE	Environnements d'apprentissage exploratoire (<i>ELE</i>)
EAE	Évaluation automatique des écrits (<i>AWE</i>)
EGC	Extraction et gestion de connaissances
GOF AI	IA symbolique, IA à base de règles (<i>Good-Old-Fashioned AI</i>)
IA	Intelligence artificielle (<i>AI</i>)
IAG	Intelligence artificielle générale
IdO	Internet des objets (<i>IoT</i>)
ODD	Objectif de développement durable (<i>SDG</i>)
ORA	Orchestrateurs de réseaux d'apprentissage (<i>LNO</i>)
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (<i>UNESCO</i>)
OIT	Organisation internationale du travail (<i>ILO</i>)
RA	Réalité augmentée (<i>AR</i>)
RV	Réalité virtuelle (<i>VR</i>)
RGPD	Règlement Général sur la Protection des Données (<i>GDPR</i>)
LSTM	Réseau de neurones récurrents à mémoire court terme et long terme (<i>Long Short-Term Memory</i> , rarement utilisé en français)
RNA	Réseau neuronal artificiel (<i>ANN</i>)
RNR	Réseau neuronal récurrent (<i>RNN</i>)
RAG	Réseaux adverses génératifs ou réseaux antagonistes génératifs (<i>GAN</i>)
RNC	Réseaux neuronaux convolutifs (<i>CNN</i>)
RNP	Réseaux neuronaux profonds (<i>DNN</i>)
REL	Ressources éducatives ouvertes (<i>OER</i>)
STEM	Sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (<i>STEM</i>)
SIGE	Système d'information sur la gestion de l'éducation (<i>EMIS</i>)
STBD	Système de tutorat basé sur le dialogue (<i>DBTS</i>)
SGA	Systèmes de gestion de l'apprentissage (<i>LMS</i>)
STI	Systèmes de tutorat intelligent (<i>ITS</i>)
SVM	Séparateur à vaste marge
TIC	Technologies de l'information et de la communication (<i>ICT</i>)
TLN	Traitement du langage naturel (<i>NLP</i>)

1. Introduction

En seulement cinq ans, de par certains succès d'envergure et par son potentiel de disruption, l'intelligence artificielle (IA) est passée des coulisses de la recherche universitaire au premier plan des discussions publiques, y compris au niveau des Nations Unies. Dans de nombreux pays, l'IA est devenue omniprésente dans la vie quotidienne, qu'il s'agisse des assistants personnels des smartphones ou des chatbots de l'assistance clientèle, de la recommandation d'activités de loisirs ou de l'anticipation en matière criminelle, de la reconnaissance faciale ou les diagnostics médicaux.

Toutefois, si l'IA peut potentiellement contribuer à la réalisation des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, la rapidité de l'évolution technologique entraîne inévitablement de multiples risques et défis, qui ont jusqu'à présent dépassé les débats politiques et les cadres réglementaires. Et, alors que les principales inquiétudes pourraient concerner le fait que l'IA domine l'action humaine, des préoccupations plus immédiates concernent les implications sociales et éthiques de l'IA – telles que l'utilisation abusive des données personnelles et la possibilité que l'IA ne creuse les inégalités existantes au lieu de les réduire.

Quoi qu'il en soit, l'IA a également fait son entrée dans le monde de l'éducation. Le secteur privé élabore de plus en plus des systèmes d'apprentissage « intelligents », « adaptatifs » et « personnalisés » pour les déployer dans les écoles et les universités du monde entier, créant un marché qui devrait représenter 6 milliards de dollars américains en 2024 (Bhutani et Wadhvani, 2018). Inévitablement, l'application de l'IA dans le champ éducatif soulève des questions fondamentales – par exemple sur ce qui devrait être enseigné et comment, sur l'évolution du rôle des enseignants et sur les implications sociales et éthiques de l'IA. Les défis sont également nombreux, notamment des questions telles que l'équité et l'accès à l'éducation. Un consensus commence à émerger sur le fait que les fondements mêmes de l'enseignement et de l'apprentissage pourraient être remodelés par le déploiement de l'IA dans l'éducation.

Toutes ces questions ont encore été compliquées par le passage massif à l'apprentissage en ligne consécutif à la fermeture des établissements scolaires en raison de la COVID-19.

En conséquence, ce guide de l'UNESCO vise à aider les décideurs à mieux comprendre les possibilités et les implications de l'IA pour l'enseignement et l'apprentissage, afin que sa mise en œuvre dans des contextes éducatifs contribue véritablement à la réalisation de l'ODD 4, à savoir « *assurer une éducation inclusive et équitable de qualité et promouvoir des possibilités d'apprentissage tout au long de la vie pour tous* ».

Nous devons en tout état de cause être conscients que le lien entre l'IA et l'éducation se nouera inévitablement de manière très différente en fonction des contextes nationaux et socio-économiques.

De manière générale, s'agissant de l'IA, la préoccupation est que

„ si nous continuons à avancer aveuglément, nous devons nous attendre à voir une augmentation des inégalités, couplée à une disruption économique, des troubles sociaux et, dans certains cas, une instabilité politique, avec un risque accru pour les populations technologiquement défavorisées et les minorités sous-représentées (Smith and Neupane, 2018, p. 12).

Les craintes ne sont pas moindres concernant l'IA et l'éducation. Pour que l'IA soutienne l'ODD 4, il est également nécessaire de fournir des modèles à bas coût pour le développement des technologies d'IA, de veiller à ce que les intérêts des pays à revenu faible ou intermédiaire soient représentés dans les débats et les décisions-clefs, et de créer des passerelles entre ces nations et les pays où la mise en œuvre de l'IA est plus avancée.

Cette publication s'ouvre sur une brève introduction à l'IA – ce qu'elle est et comment elle fonctionne – qui fournit la base pour une discussion approfondie sur l'interaction entre IA et éducation. Cette introduction est suivie d'une présentation des multiples manières dont l'IA est utilisée dans l'éducation, ainsi que d'une discussion sur la façon dont l'IA pourrait améliorer l'inclusion et l'équité, la qualité de l'apprentissage, la gestion de l'éducation et la pédagogie. Cette discussion porte également sur la manière dont l'éducation pourrait aider tous les citoyens à développer les compétences nécessaires à la vie et au travail à l'ère de l'IA. On détaille ensuite les principaux objectifs stratégiques – exploiter les avantages et atténuer les risques de l'IA pour l'éducation, ainsi que les défis à relever pour atteindre ces objectifs. Le guide s'achève par un ensemble de recommandations, conçues pour alimenter une vision globale et des plans d'action pour les politiques d'IA et d'éducation.

2. L'essentiel de l'IA pour les décideurs politiques

2.1 La nature interdisciplinaire de l'IA

Le terme d'« intelligence artificielle » a été utilisé pour la première fois lors d'un atelier organisé en 1956 au Dartmouth College, une université américaine de la *Ivy League*, pour décrire « la science et l'ingénierie de la fabrication de machines intelligentes, en particulier de programmes informatiques intelligents » (McCarthy et al, p. 2)¹. Au cours des décennies suivantes, l'IA s'est développée par à-coups, avec des périodes de progrès rapides entrecoupées de déserts (Russell et Norvig, 2016).

Pendant ce temps, les définitions de l'IA se multipliaient et s'élargissaient, se mêlant souvent aux questions philosophiques relatives à la définition de l'intelligence et à la possibilité pour les machines d'être réellement « intelligentes ». Pour ne donner qu'un exemple, Zhong a défini l'IA comme étant

„ une branche de la science et de la technologie modernes visant d'une part à explorer les secrets de l'intelligence humaine, d'autre part à implémenter autant que possible l'intelligence humaine dans les machines, afin que ces dernières soient capables d'exécuter des fonctions aussi intelligemment qu'elles le peuvent. (Zhong, 2006, p. 90)

De manière pragmatique, en mettant de côté ce débat déjà ancien, l'IA pourrait être définie, dans la présente publication, comme des systèmes informatiques qui ont été conçus pour interagir avec le monde au moyen de capacités que nous avons l'habitude de considérer comme humaines (Luckin et al., 2016). La Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (COMEST) donne plus de détails à ce sujet : elle définit l'IA comme impliquant

„ des machines capables d'imiter certaines fonctionnalités de l'intelligence humaine, notamment des caractéristiques telles que la perception, l'apprentissage, le raisonnement, la résolution de problèmes, l'interaction linguistique et même la production d'œuvres créatives. (COMEST, 2019)

Nous assistons actuellement à une renaissance de l'IA, avec un nombre toujours plus important de secteurs adoptant le type d'IA connu sous le nom d'apprentissage automatique, qui implique que le système d'IA analyse d'énormes quantités de données. Cette évolution résulte de

deux facteurs essentiels : la croissance exponentielle d'une part des données (IBM a calculé que, grâce à l'internet et aux technologies connexes, plus de 2,5 quintillions² d'octets de données sont créés chaque jour), d'autre part de la puissance de traitement des ordinateurs (selon la loi de Moore, les téléphones portables d'aujourd'hui sont aussi puissants que les superordinateurs d'il y a 40 ans). Le *big data* et la puissance des ordinateurs sont deux données essentielles au succès de l'apprentissage automatique, car les algorithmes dépendent du traitement de millions de points de données, ce qui nécessite une énorme puissance informatique³.

TABLEAU 1 : EXEMPLES D'IA CONSIDÉRÉE COMME UN SERVICE

SOCIÉTÉ	PLATEFORME D'IA COMME SERVICE	DESCRIPTION DE LA SOCIÉTÉ
Alibaba	Cloud	Outils d'IA basés sur le <i>cloud</i> pour répondre aux demandes des entreprises, des sites web ou des applications : https://www.alibabacloud.com
Amazon	AWS	Service d'IA pré-entraînée pour la vision par ordinateur, le langage, les recommandations et les prévisions. Il permet de construire, de former et de déployer rapidement des modèles d'apprentissage automatique à grande échelle ou de créer des modèles personnalisés grâce à la prise en charge de tous les principaux environnements libres (<i>open source</i>) : https://aws.amazon.com/machine-learning
Baidu	EasyDL	Aide les clients à créer des modèles d'IA personnalisés de haute qualité sans avoir à coder : https://ai.baidu.com/easydl
Google	TensorFlow	Plateforme intégralement en <i>open source</i> pour l'apprentissage automatique, comprenant un écosystème d'outils, de bibliothèques et de ressources communautaires qui permet aux chercheurs de partager l'état de l'art en matière d'apprentissage automatique et aux développeurs de créer et de déployer facilement des applications alimentées par l'apprentissage automatique : https://www.tensorflow.org
IBM	Watson	Permet aux utilisateurs d'apporter des outils et des applications d'IA aux données, quelles que soient la localisation et la plateforme hôte : https://www.ibm.com/watson .
Microsoft	Azure	Comprend plus de 100 services pour créer, déployer et gérer des applications : https://azure.microsoft.com .
Tencent	WeStart	Cartographie les capacités de l'IA, les talents professionnels et les ressources de l'industrie pour soutenir le lancement ou l'amélioration des <i>start ups</i> . Il met en relation des partenaires industriels, diffuse et applique la technologie de l'IA dans différents secteurs industriels : https://westart.tencent.com/ai

La quasi-totalité des grandes entreprises technologiques mondiales, et bien d'autres encore, proposent désormais des plateformes sophistiquées d'IA en tant que service », dont certaines avec un code source ouvert à tous. Elles fournissent diverses briques d'IA que les développeurs peuvent mettre en œuvre sans avoir à (ré) écrire entièrement des algorithmes d'IA à partir de zéro.

Il n'est pas inutile de noter que les algorithmes d'apprentissage automatique qui font les plus gros titres – « apprentissage profond » et « réseaux neuronaux » – existent depuis plus de 40 ans. Les récents succès spectaculaires de l'IA et son potentiel disruptif sont dus à des perfectionnements sophistiqués de ces algorithmes, ainsi qu'à leur large disponibilité « en tant que service », plutôt qu'à un nouveau paradigme fondamental. En d'autres termes, on pourrait dire que nous sommes actuellement dans « l'ère de la mise en œuvre ».

” **Une grande partie du travail de la recherche sur l'IA, difficile mais théorique, a été réalisée... l'ère de la mise en œuvre signifie que nous allons enfin voir des applications dans le monde réel.** (Lee, 2018, p. 13)

Les applications de l'IA dans le monde réel deviennent de plus en plus omniprésentes et disruptives, avec des exemples bien connus allant de la traduction automatique et la reconnaissance faciale, utilisée pour identifier les voyageurs et traquer les criminels, aux véhicules à conduite autonome et aux assistants personnels sur les smartphones et autres appareils de notre vie quotidienne. Le domaine des soins de santé est particulièrement remarquable. Un récent exemple d'avancée réside dans l'application de l'IA à l'élaboration et au développement d'un nouveau médicament capable de tuer de nombreuses espèces de bactéries résistantes aux antibiotiques (Trafton, 2020). Un deuxième exemple est l'application de l'IA à l'analyse de l'imagerie médicale, notamment les scanners du cerveau du fœtus pour fournir une indication précoce quant aux anomalies⁴, les scanners rétinien pour diagnostiquer le diabète⁵ et les radiographies pour améliorer la détection des tumeurs⁶. L'ensemble de ces exemples illustrent le potentiel d'un travail en étroite association entre IA et humains :

” **Lorsque nous combinons des technologies d'imagerie basées sur l'IA avec le travail des radiologues, nous constatons que la combinaison de la technologie d'IA et du radiologue est plus performante que l'IA seule ou le radiologue seul.** (Michael Brady, professeur d'oncologie à l'université d'Oxford, cité dans *MIT Technology Review et GE Healthcare*, 2019)

Cette récente étude suggère en outre que l'utilisation des technologies de l'IA pourrait en fait « ré-humaniser » les soins de santé :

” **La croissance de l'IA et des processus automatisés fait souvent craindre que la dimension humaine ne disparaisse du processus de prestation des soins de santé. Ce que l'industrie constate, cependant, c'est que c'est le contraire qui est en train de se produire : l'IA peut augmenter les ressources et les moyens des professionnels de la santé surchargés et améliorer considérablement les processus.** (*MIT Technology Review and GE Healthcare*, 2019)

Parmi les autres applications de plus en plus courantes de l'IA, on peut citer :

■ **L'auto-journalisme**

Des agents d'IA surveillent en permanence les organes d'information internationaux et extraient des

informations-clefs pour les journalistes ; ils rédigent également, de manière automatique, des articles simples ;

■ **Les services juridiques de l'IA**

Par exemple, la fourniture d'outils de recherche automatique, la recherche de la jurisprudence et des statuts, la vérification juridique préalable ;

■ **Les prévisions météorologiques par IA**

L'extraction et l'analyse automatique de grandes quantités de données météorologiques passées, afin d'établir des prévisions ;

■ **La détection des fraudes par IA**

La surveillance automatique de l'utilisation des cartes de crédit, afin d'identifier les modèles et les anomalies (c'est-à-dire les transactions potentiellement frauduleuses) ;

■ **Les processus commerciaux pilotés par IA**

Par exemple, la production autonome, l'analyse de marché, les opérations boursières et la gestion de portefeuille ;

■ **Les villes intelligentes**

L'utilisation de l'IA et de l'internet des objets (IdO, en anglais *IoT*) pour améliorer les éléments liés à l'efficacité et la durabilité, de disponibilité et d'efficacité, pour les personnes vivant et travaillant en milieu urbain ;

■ **Les robots de l'IA**

Des machines physiques qui utilisent des techniques d'IA, telles que la vision artificielle et l'apprentissage par renforcement, pour les aider à interagir avec le monde.

Si chacun de ces exemples suggère un important potentiel positif pour la société, il ne faut pas négliger de souligner que d'autres applications de l'IA sont plus controversées. Deux exemples :

■ **La guerre autonome**

Des armes, drones et autres équipements militaires qui fonctionnent sans intervention humaine.

■ **Les Deep-fakes**

Le fait de générer de manière automatique des fausses nouvelles, le remplacement de visages dans des vidéos afin que des hommes politiques et des célébrités semblent dire ou faire des choses qu'ils n'ont jamais dites ni faites.

En outre, il faut examiner avec prudence les nombreuses annonces spectaculaires faites par certaines entreprises de l'IA et par les médias. Pour commencer, malgré les gros titres annonçant que les outils d'IA sont désormais « meilleurs » que les humains dans des tâches telles que la lecture de textes et l'identification d'objets dans des images, la réalité est que ces succès ne sont vrais que dans certaines circonstances – par exemple, lorsque le texte est court et contient suffisamment d'informations nécessaires pour qu'il soit directement compréhensible. Les technologies actuelles de l'IA peuvent également être très fragiles : si les données sont modifiées à la marge, par exemple si un bruit aléatoire est superposé à une image, il arrive que l'outil échoue totalement dans l'exécution de la tâche (Marcus et Davis, 2019)⁷.

2.2 Brève introduction aux techniques de l'IA

Chaque application de l'IA dépend de multiples techniques complexes, qui exigent que les ingénieurs en IA disposent d'un excellent niveau en mathématiques, en statistiques et autres sciences des données, ainsi qu'en codage. Ces techniques sont trop spécialisées pour être explorées ici dans le détail.⁸ Ce qui suit est plutôt une brève présentation de certaines techniques d'IA de base, puis de certaines technologies typiques.

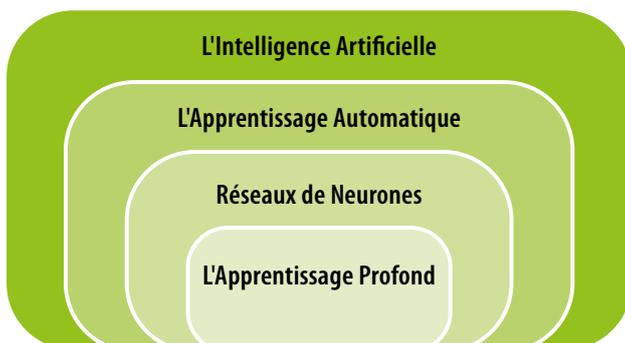
L'IA classique

Une grande partie de l'IA des débuts ou « classique », connue sous le nom d'« IA symbolique », d'« IA à base de règles » ou de « bonne vieille IA » (en anglais *GOFAI*), implique l'écriture de séquences de SI... ALORS... et d'autres règles de logique conditionnelle, c'est-à-dire des étapes que l'ordinateur suit pour accomplir une tâche. Au fil du temps, des « systèmes experts » d'IA basés sur des règles ont été créés et développés pour un large éventail d'applications, telles que les diagnostics médicaux, les notations de crédit et la production. Les systèmes experts sont basés sur une approche connue sous le nom d'« ingénierie des connaissances », qui consiste à obtenir et à modéliser les connaissances des experts dans un domaine donné, ce qui représente une tâche exigeante en ressources et qui n'est pas sans complications. Les systèmes experts typiques comportent plusieurs centaines de règles, mais il est généralement possible de suivre leur logique. Toutefois, lorsque les interactions entre les règles se multiplient, il peut devenir difficile de réviser et d'améliorer les systèmes experts.

L'apprentissage automatique

De nombreuses avancées récentes en matière d'IA – notamment le traitement du langage naturel, la reconnaissance faciale et les voitures autonomes – ont été rendues possibles par les progrès des approches informatiques basées sur l'apprentissage automatique. Plutôt que d'utiliser des règles, l'apprentissage automatique (AA, *machine learning*, *ML*, en anglais) analyse de grandes quantités de données pour identifier des modèles et construire un modèle qui est ensuite utilisé pour extrapoler les données futures : c'est en ce sens que les algorithmes, plutôt que d'être préprogrammés, sont dits « apprenants ».

FIGURE 1 : RELATION ENTRE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE, LES RÉSEAUX DE NEURONES ET L'APPRENTISSAGE PROFOND.



Il existe trois approches principales de l'AA : supervisée, non supervisée, et par renforcement. L'apprentissage supervisé implique que les données ont déjà été identifiées et décrites, par exemple des milliers de photographies de personnes préalablement « étiquetées » par des humains. L'apprentissage supervisé relie les données aux étiquettes, afin de construire un modèle qui peut être appliqué à des données similaires, par exemple pour identifier automatiquement des personnes sur de nouvelles photographies. Dans l'apprentissage non supervisé, l'IA dispose d'une quantité de données encore plus importante, mais les données n'ont alors pas été préalablement identifiées, catégorisées ou étiquetées. L'apprentissage non supervisé vise à découvrir des similitudes, des modèles cachés dans les données, les ensembles de données qui peuvent être utilisés pour classer de nouvelles données. Par exemple, il devient possible d'identifier automatiquement les lettres et les chiffres d'une écriture manuscrite en recherchant des modèles dans des milliers d'exemples disponibles.

Dans l'apprentissage supervisé comme dans l'apprentissage non supervisé, le modèle obtenu à partir des données est fixe, et si les données changent, il est nécessaire de reprendre l'analyse. À l'inverse, la troisième approche de l'AA, à savoir l'apprentissage par renforcement, implique l'amélioration continue du modèle sur la base du retour d'information (en anglais *feedback*) – en d'autres termes, il s'agit d'un apprentissage automatique dans le sens où l'apprentissage est continu. L'IA reçoit des données initiales à partir desquelles elle élabore un modèle, qui est évalué comme correct ou incorrect et, selon le résultat, « récompensé » ou « éliminé », autrement dit gardé ou rejeté. L'IA utilise ce renforcement pour mettre à jour son modèle, puis elle réessaie, se développant ainsi de manière itérative (par apprentissage et évolution) au fil du temps. Par exemple, si une voiture autonome évite une collision, le modèle qui lui a permis de le faire est récompensé, autrement dit renforcé, ce qui améliore sa capacité à éviter à l'avenir les collisions.

L'AA est tellement répandu aujourd'hui qu'il est parfois considéré comme synonyme d'IA, alors qu'il s'agit en fait d'un sous-ensemble de l'IA. De fait, il existe encore de nombreuses applications d'IA qui n'utilisent pas l'AA, ou du moins il y a presque toujours une part de *GOFAI* (IA basée sur des règles ou symbolique, cf. supra) en arrière-plan. Par exemple, de nombreuses applications courantes de chatbot (conversation avec un assistant automatique) sont préprogrammées avec

des règles définies par l'homme sur la façon de répondre à des questions anticipées. En fait, comme les anciens systèmes experts,

Presque tous les produits d'IA que vous voyez aujourd'hui ont besoin d'un contenu inséré directement par des experts humains. Il peut s'agir de l'expertise de linguistes et de phonéticiens si l'IA traite du langage naturel, de médecins dans les cas où l'IA est utilisée dans le domaine de la santé, voire d'experts en circulation routière et en conduite lorsque l'IA alimente des voitures à conduite autonome, etc. L'apprentissage automatique ne pourrait pas, seul, créer une IA complète sans l'aide des composants GOFAL. (Säuberlich et Nikolić, 2018)

En outre, il faut reconnaître que l'AA ne fonctionne pas exactement de la même manière que l'apprentissage par un humain. Il n'apprend pas non plus de manière indépendante. Au contraire, l'AA dépend entièrement des humains : ils choisissent, nettoient et étiquettent les données, puis conçoivent et entraînent l'algorithme d'IA, enfin sélectionnent, interprètent et évaluent les résultats. Par exemple, un outil révolutionnaire de reconnaissance d'objets présenté comme capable d'identifier des photos de chats dans une base de données d'images ne faisait, en réalité, que regrouper des objets qui se ressemblaient d'une manière ou d'une autre, et il fallait l'intervention d'un humain pour identifier l'ensemble de ces objets comme étant des chats. De la même façon, l'AA utilisée dans les véhicules autonomes dépend entièrement de millions d'images de scènes de rue traitées par des humains. La Silicon Valley a dans une large mesure externalisé cet étiquetage à des personnes du monde entier (en utilisant des systèmes comme Amazon Mechanical Turk)⁹ et à des entreprises dans des pays tels que l'Inde, le Kenya, les Philippines et l'Ukraine.¹⁰ Les tâches de ces travailleurs de la nouvelle économie consistent à tracer à la main et à étiqueter chaque objet (véhicules, panneaux de signalisation et piétons) dans chaque image de la vidéo capturée par des prototypes de véhicules autonomes – toutes données que l'algorithme d'AA analyse ensuite.

Les réseaux neuronaux artificiels

Un réseau neuronal artificiel, ou réseau de neurones artificiel, (RNA) est une approche de l'IA qui s'inspire de la structure des réseaux neuronaux biologiques – le cerveau des animaux. Les RNA comprennent chacun trois types de couches interconnectées de neurones artificiels : une couche d'entrée, une ou plusieurs couches de calcul intermédiaires cachées, enfin une couche de sortie qui fournit le résultat. Au cours du processus d'AA, les pondérations attribuées aux connexions entre les neurones sont ajustées dans un processus d'apprentissage par renforcement et de « rétropropagation », ce qui permet au RNA de calculer des sorties pour de nouvelles données. AlphaGo, mis au point par Google, qui a vaincu en 2016 le premier joueur mondial du jeu de go, est un exemple bien connu d'utilisation d'un RNA.

Les couches cachées sont la clef de la puissance des RNA, mais elles imposent également une contrainte importante. Il n'est

généralement pas possible d'interroger un réseau neuronal profond pour déterminer comment il est parvenu à sa solution. Cela conduit à des prises de décision dont on ne connaît pas la logique. De nombreuses entreprises recherchent des moyens d'analyser ces décisions (Burt, 2019), afin que les utilisateurs puissent comprendre pourquoi un algorithme donné est parvenu à une décision particulière – ce qui est extrêmement important lorsque les RNA et autres techniques d'AA sont utilisés pour prendre des décisions qui influent de manière significative sur les humains, par exemple pour calculer la durée d'une peine d'incarcération.

Cependant, comme toujours, cela complique encore les choses : « générer davantage d'informations sur les décisions de l'IA pourrait présenter de réels avantages, [mais] cela pourrait également créer de nouveaux risques ». (Burt, 2019)

L'apprentissage profond

L'apprentissage profond fait référence aux RNA qui comprennent plusieurs couches intermédiaires. C'est cette approche qui est à l'origine de nombreuses applications de l'IA récentes et prometteuses (par exemple dans le traitement du langage naturel, la reconnaissance vocale, la vision par ordinateur, la création d'images, la découverte de médicaments ou la génomique). Les modèles émergents concernant l'apprentissage profond comprennent : les « réseaux neuronaux profonds » (RNP), qui trouvent des opérations mathématiques efficaces pour fournir la sortie requise à partir d'une entrée ; les « réseaux neuronaux récurrents » (RNR), qui permettent aux données de circuler dans n'importe quelle direction, qui peuvent traiter des séquences entières d'entrées et qui sont utilisés pour des applications telles que la modélisation du langage ; et les « réseaux neuronaux convolutifs » (RNC), qui traitent des données se présentant sous la forme de réseaux multiples, comme l'utilisation de trois images bidimensionnelles pour créer une vision informatique tridimensionnelle.

Pour finir, il convient de noter que de nombreuses avancées récentes, en particulier dans le domaine de l'imagerie, ont été réalisées par ce que l'on appelle les « réseaux adverses génératifs » ou « réseaux antagonistes génératifs » (RAG, GAN en anglais). Dans un RAG, deux réseaux neuronaux profonds sont en compétition l'un avec l'autre – un « réseau génératif », qui crée des sorties possibles, et un « réseau discriminant », qui évalue ces sorties. Le résultat informe l'itération suivante, lui fournit des renseignements. Par exemple, AlphaZero de DeepMind a utilisé une approche de type RAG pour apprendre à jouer et à gagner à de nombreux jeux de société (Dong et al., 2017). Ou encore, un RAG entraîné à partir de photographies a généré des images de personnes qui semblent réelles mais n'existent pas.¹¹ D'autres applications de cette approche se trouvent actuellement à l'étude.

2.3 Brève introduction aux technologies de l'IA

Prises toutes ensemble, ces techniques d'IA ont donné naissance à une série de technologies d'IA, qui sont de plus en plus souvent proposées « en tant que services » (voir tableau 1) et sont utilisées dans la plupart des applications mentionnées ci-dessus. Parmi les technologies d'IA détaillées dans le tableau 2 se trouvent :

■ Le traitement du langage naturel (TLN, en anglais *Natural language processing, NLP*)

Utilisation de l'IA pour interpréter des textes de manière automatique, y compris via de l'analyse sémantique (utilisation dans les services juridiques et la traduction, par exemple), et générer des textes (comme dans l'auto-journalisme).

■ La reconnaissance de la parole

Application du NLP aux mots parlés, notamment les smartphones, les assistants personnels IA et les bots conversationnels dans les services bancaires.

■ La reconnaissance et le traitement des images

Utilisation de l'IA pour la reconnaissance faciale (par exemple pour les passeports électroniques), la reconnaissance de

l'écriture manuscrite (par exemple pour le tri postal automatisé), la manipulation d'images (par exemple pour les *deep-fakes*), ou encore les véhicules autonomes.

■ Les agents autonomes

Utilisation de l'IA dans les avatars de jeux vidéo, les bots de logiciels malveillants, les compagnons virtuels, les robots intelligents et les guerres autonomes.

■ La détection des affects

Utilisation de l'IA pour analyser les sentiments dans les textes, les comportements et les visages.

■ L'exploration de données prédictives

Utilisation de l'IA pour les diagnostics médicaux, les prévisions météorologiques, les projections commerciales, les villes intelligentes, les prévisions financières et la détection des fraudes.

■ La créativité artificielle

Utilisation de l'IA dans des systèmes capables de créer de nouvelles photographies, de la musique, des œuvres d'art ou encore des histoires.

TABLEAU 2 : LES TECHNOLOGIES DE L'IA

TECHNOLOGIE	DÉTAILS	PRINCIPALES TECHNIQUES	DÉVELOPPEMENT	EXEMPLES
Traitement du langage naturel (TLN, en anglais <i>NLP</i>)	Générer automatiquement des textes (comme dans l'auto-journalisme), interpréter des textes, y compris par analyse sémantique (comme dans les services juridiques et la traduction).	Apprentissage automatique (notamment l'apprentissage profond), régression et K-moyennes (K-means en anglais).	Le TLN, la reconnaissance vocale et la reconnaissance d'images ont tous atteint une précision supérieure à 90 %. Cependant, certains chercheurs affirment que, même avec davantage de données et des processeurs plus rapides, ce taux ne sera pas beaucoup amélioré tant que ne sera pas développé un nouveau paradigme d'IA.	Otter ¹²
Reconnaissance vocale	TLN appliqué au langage parlé, notamment pour les smartphones, les assistants personnels et les bots conversationnels dans les services bancaires.	Apprentissage automatique, en particulier une approche de réseau neuronal récurrent d'apprentissage profond souvent appelée du terme anglais « long short-term memory » (LSTM) (qu'on peut traduire par « réseau de neurones récurrents à mémoire court terme et long terme »).		Alibaba Cloud ¹³
Reconnaissance et traitement des images	Reconnaissance faciale (par ex. pour les passeports électroniques) ; reconnaissance de l'écriture manuscrite (par ex. pour le tri postal automatisé) ; manipulation d'images (par ex. pour lutter contre les contrefaçons) ; véhicules autonomes.	Apprentissage automatique, en particulier réseaux neuronaux convolutifs d'apprentissage profond.		Google Lens ¹⁴
Agents autonomes	Avatars de jeux vidéo, robots de logiciels malveillants, compagnons virtuels, robots intelligents, guerres autonomes.	GOFAI et apprentissage automatique (par ex., apprentissage profond, réseaux neuronaux auto-organisés, apprentissage évolutionnaire, apprentissage par renforcement).	Les efforts de recherche se concentrent sur l'intelligence émergente, l'activité coordonnée, la localisation et l'incarnation physique, inspirées par des formes simples de vie biologique.	Woebot ¹⁵
Détection des affects	Analyses de texte, de comportement et de sentiments (reconnaissance faciale).	Réseaux bayésiens (ou « de Bayes ») et apprentissage automatique, notamment apprentissage profond.	De multiples produits sont en cours de développement à l'échelle mondiale ; cependant, leur utilisation est souvent controversée.	Affectiva ¹⁶

Extraction et gestion de connaissances (EGC) pour la prévision	Prévisions financières, détection des fraudes, diagnostics médicaux, prévisions météorologiques, processus commerciaux, villes intelligentes.	Apprentissage automatique (notamment apprentissage supervisé et apprentissage profond), réseaux bayésiens (réseaux de Bayes) et séparateurs à vaste marge (SVM).	Les applications d'exploration de données connaissent une croissance exponentielle, qu'il s'agisse de prédire des achats ou d'interpréter des signaux d'électroencéphalographie (EEG).	<i>Research project</i> ¹⁷
Création artificielle	Systèmes capables de créer de nouvelles photographies, de la musique, des œuvres d'art ou des histoires.	Réseaux adversaires génératifs (RAG, en anglais GAN), type d'apprentissage profond impliquant deux réseaux neuronaux opposés l'un à l'autre. Modèles de langage autorégressifs qui utilisent l'apprentissage profond pour produire des textes d'apparence humaine.	Les RAG sont à la pointe de l'IA, de sorte que les applications futures ne deviennent visibles que lentement. Un modèle de langage autorégressif connu sous le nom de GPT-3 peut produire un texte ressemblant de manière impressionnante à du texte humain. Cependant, en dépit des apparences, le système ne comprend pas le texte qu'il produit. ¹⁸	<i>This Person Does Not Exist</i> ¹¹ GPT-3 (Brown et al., 2020)

2.4 Les possibles tendances dans le développement de l'IA : l'IA « faible » et l'IA « forte »

Alors que les spécialistes de l'IA commencent à rêver à une intelligence artificielle générale (IAG) de niveau humain, connue sous le nom d'IA forte, chacune des applications mentionnées au point 2.1 est en fait un exemple d'IA étroite ou faible (Searle, 1980). Le domaine dans lequel chaque application étroite fonctionne est extrêmement contraint et limité, et l'IA ne peut pas être directement appliquée ailleurs. Par exemple, l'IA utilisée pour les prévisions météorologiques est incapable d'anticiper les mouvements du marché boursier, tandis que l'IA utilisée pour conduire une voiture ne sait pas diagnostiquer une tumeur. Quoi qu'il en soit, bien qu'elles ne puissent être qualifiées d'« intelligentes » au sens humain du terme, chacune de ces applications peut souvent dépasser les humains en termes d'efficacité et d'endurance, ainsi que par sa capacité à identifier des modèles significatifs dans d'énormes quantités de données.

Bien qu'on doive lui reconnaître quelques réussites notoires, il faut admettre que l'IA n'en est encore qu'à ses débuts. Par exemple, il est impossible de tenir une véritable conversation avec l'un des assistants personnels de nos smartphones ou d'autres appareils ménagers alimentés par l'IA – au lieu de

cela, l'IA répond uniquement, et souvent de manière inexacte, à des commandes spécifiques. En d'autres termes, si les performances de l'IA sont supérieures à celles des experts humains pour certaines fonctionnalités (comme la recherche de modèles dans des données), dans d'autres (comme la tenue d'une conversation approfondie), son niveau reste inférieur à celui d'un enfant de deux ans.¹⁹

En outre, il y a des signes, à l'échelle internationale, qui indiquent que, contrairement à certaines prévisions excessives, les investissements dans les technologies de l'IA pourraient devoir être tempérés – il ne s'agit pas d'une nouvelle ère glaciaire pour l'IA, mais le potentiel de l'IA s'apparente trop souvent à un horizon désirable mais hors d'atteinte (Lucas, 2018). Certains suggèrent même que les progrès de l'IA vont bientôt plafonner (Marcus et Davis, 2019). Par exemple, il faudra encore attendre quelques décennies avant de voir des véhicules autonomes naviguer en toute sécurité dans les rues de Palerme ou de Delhi, et il est encore facile d'induire en erreur les applications de reconnaissance d'images (Mitchell, 2019).

2.5 Une vision critique des capacités et des limites de l'IA

Il peut être intéressant de subdiviser l'IA selon trois types fondamentaux de réalisations :

- Les technologies de l'IA qui représentent « un progrès technologique véritable et rapide » : elles se concentrent principalement sur la « perception » (notamment le diagnostic médical à partir de scans, la conversion de la parole en texte et les *deep-fakes* (Narayanan, 2019) ;
- Les technologies de l'IA qui sont « loin d'être parfaites, mais qui s'améliorent » : elles sont principalement axées sur l'automatisation des jugements (y compris la détection du

pourriel et des discours haineux, et la recommandation de contenus) (ibid.) ;

- Les technologies de l'IA qui sont « a priori douteuses » : ce sont celles qui concernent des prévisions relevant du domaine socio-économique (notamment la récidive criminelle et la performance professionnelle) (ibid.).

Le point fondamental ici est que, bien que les réseaux neuronaux profonds aient été formés pour accomplir des tâches hors du commun, il y a beaucoup de choses qu'ils ne peuvent ni ne savent faire (Marcus et Davis, 2019). En particulier, ils ne font rien qui soit véritablement intelligent. Bien plutôt,

” ils ne font que créer des modèles par le biais des statistiques. Ces modèles peuvent être plus opaques, plus médiatisés et plus automatisés que les approches antérieures, et capables de représenter des phénomènes statistiques plus complexes, ils ne sont toujours que de simples incarnations mathématiques, et non des entités intelligentes, aussi spectaculaires que soient leurs résultats. (Leetaru, 2018).

En outre, diverses études ont montré que les techniques d'AA qui impliquent des milliers de variables ou de caractéristiques de données, et qui nécessitent donc de grandes quantités de ressources et d'énergie pour être traitées, peuvent n'être qu'à peine meilleures qu'une simple technique de régression linéaire qui n'utilise que quelques fonctions et beaucoup moins d'énergie (Narayanan, 2019).

En tout état de cause, ce qui distingue l'IA d'aujourd'hui des révolutions technologiques précédentes, c'est la vitesse à laquelle elle s'est développée, conduisant à l'émergence de nouvelles technologies et d'approches transformatrices presque chaque jour, ainsi que son omniprésence, qui influence presque tous les aspects de la vie moderne. Pour ne citer qu'un seul exemple, des chercheurs ont mis au point un système d'IA utilisant un trio de réseaux d'apprentissage profond qui est bien plus performant que les experts humains pour prédire le cancer du sein (McKinney et al., 2020).

Certains éléments indiquent en tout cas que, dans de nombreux contextes, les succès de l'AA ont été à tout le moins un peu exagérés et que les améliorations rapides déjà observées se heurtent peut-être à certaines limitations. Par exemple, en dépit de certaines réalisations dignes d'intérêt, les affirmations selon lesquelles l'AA est désormais aussi précise que l'humain pour identifier des objets dans des images présentent deux limites

importantes : elles dépendent (i) de l'accès du système à des millions d'images étiquetées, alors qu'un jeune enfant n'a besoin que de quelques images pour atteindre le même niveau de précision ; et (ii) d'une interprétation assez lâche de la précision (dans l'un des concours de vision artificielle les plus médiatisés, une seule suggestion correcte, sur cinq possibles, suffit pour qu'un outil d'IA soit considéré comme performant). (Mitchell, 2019). En outre, comme indiqué précédemment, toutes les techniques qui alimentent actuellement les grandes avancées de l'IA (comme les réseaux neuronaux profonds et l'AA) ont été développées il y a plusieurs décennies. En d'autres termes, si nous continuons d'observer des perfectionnements itératifs des techniques existantes et de nouvelles applications, nous attendons toujours la prochaine grande avancée.

Certains experts affirment que celle-ci ne pourra se produire que lorsque les techniques symboliques ou fondées sur des règles de l'IA dite « classique » ou de la GOFAI seront combinées aux techniques fondées sur les données. Cela se produit déjà, par exemple, avec les véhicules autonomes :

” Il y a certaines choses que les agents intelligents doivent faire et pour lesquelles l'apprentissage profond n'est pas très performant à l'heure actuelle. Il n'est pas très bon pour l'« inférence abstraite ». Il n'est pas non plus très efficace pour gérer des situations qu'il n'a jamais rencontrées auparavant et pour lesquelles il dispose d'informations relativement incomplètes. Nous devons donc compléter l'apprentissage profond par d'autres outils... À mon avis, nous devons réunir la manipulation de symboles (c'est-à-dire l'IA basée sur des règles) et l'apprentissage profond. Ces deux approches ont été traitées séparément pendant trop longtemps. (Marcus interviewé par Ford, 2018, p. 318).

2.6 L'intelligence collaborative homme-machine

L'IA est née de la tentative de simuler et de mécaniser les processus de pensée humains (Turing, 1950) et elle entretient depuis lors une relation délicate avec eux. À ce sujet, il est intéressant de noter que, si nous avons l'habitude de lire des articles sur les succès spectaculaires de l'IA (allant de la victoire sur les humains dans des jeux à la lecture plus précise que les humains des scanners rétiniens), les limites des approches actuelles de l'IA sont cependant de plus en plus claires (Mitchell, 2019). De fait, si l'IA s'est montrée performante dans des opérations qui peuvent présenter des difficultés pour les humains (comme la découverte de modèles et le raisonnement statistique), elle reste médiocre dans d'autres opérations qui sont relativement faciles pour les humains (comme l'apprentissage autonome, le bon sens et les jugements de valeur). C'est ce que l'on appelle le paradoxe de Moravec :

” Il est relativement facile de faire en sorte que les ordinateurs affichent des performances dignes d'un adulte lors de tests d'intelligence ou quand ils jouent aux dames, et difficile, voire impossible, de leur donner les compétences d'un enfant d'un an en matière de perception et de mobilité. (Moravec, 1988, p. 15)

En outre, comme nous l'avons déjà vu, on a souvent tendance à passer sous silence l'importance cruciale de l'intervention humaine dans les succès de l'IA. La plupart du temps, ce sont les humains qui doivent définir le problème, formuler les questions, sélectionner, nettoyer et étiqueter les données, concevoir ou choisir les algorithmes, décider comment les pièces s'assemblent, tirer des conclusions, procéder à des évaluations en fonction des résultats obtenus, et bien d'autres choses encore. Par conséquent, même si de nombreuses tâches sont susceptibles d'être automatisées, les humains ont encore un rôle essentiel à jouer, rôle pour lequel une préparation adéquate est nécessaire (Holmes et al., 2019).

De fait, la relation de plus en plus complexe et nuancée entre les humains et l'IA a conduit à des demandes pour que l'IA soit reconfigurée et rebaptisée « intelligence augmentée » (Zheng, 2017).

Par exemple, si les ordinateurs peuvent désormais battre facilement les humains aux échecs, les ordinateurs et les humains travaillant ensemble semblent être plus forts que l'un ou l'autre travaillant seul. Lors de compétitions, des joueurs d'échecs amateurs utilisant l'IA ont été capables de battre à la fois des ordinateurs et des grands maîtres (Brynjolfsson et McAfee, 2014).

Cette approche consiste à utiliser l'IA pour améliorer les capacités humaines plutôt qu'empiéter sur elles. Le passage à l'intelligence augmentée conduit à mettre l'accent sur le développement de technologies d'IA qui complètent et élargissent la connaissance humaine ; cela permet de suggérer des façons dont les humains et l'IA pourraient collaborer plus efficacement, de s'interroger sur la répartition des tâches entre les humains et les machines, et de laisser entrevoir la possibilité pour le moins alléchante selon laquelle les problèmes du monde pourraient être résolus au moyen d'un mélange judicieux d'intelligence artificielle et collective (Mulgan, 2018).

2.7 La Quatrième Révolution industrielle et les conséquences de l'IA sur l'emploi

L'IA est considérée comme un élément-clef de la Quatrième Révolution industrielle (de l'Industrie 4.0) :

” Parmi les nombreux défis, aussi divers que fascinants, auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui, le plus grand, le plus important, est de savoir comment comprendre et façonner la nouvelle révolution technologique, qui n'implique rien de moins qu'une transformation de l'humanité. (Schwab, 2017, p. 1)

Parmi les technologies de l'industrie 4.0, l'impression 3D, les véhicules autonomes, les biotechnologies, les nanotechnologies, l'informatique quantique, la robotique et l'Internet des objets, qui toutes sont sous-tendues par l'IA. L'IA est déjà omniprésente sur les lieux de travail modernes – de l'industrie manufacturière à la banque, en passant par la construction, le transport, et bien d'autres domaines – ce qui a des implications qui imposent une réponse systémique : une augmentation inévitable va se produire, à la fois du chômage et de nouveaux métiers. Selon une estimation mondiale récente, 30 % des activités professionnelles pourraient être automatisées d'ici à 2030. Ce sont jusqu'à 375 millions de travailleurs dans le monde qui pourraient être touchés. Tant les ouvriers que les employés du tertiaire seront touchés, et ce ne sont pas nécessairement les premiers qui en feront le plus les frais :

” Les emplois que l'IA peut facilement reproduire et remplacer sont ceux qui nécessitent des compétences récemment valorisées, comme la logique et le calcul. Il s'agit généralement d'emplois à revenu moyen. À l'inverse, les emplois que l'IA ne peut pas remplacer facilement sont ceux qui reposent sur des compétences très évoluées, comme la mobilité et la perception. Il s'agit généralement d'emplois à faible revenu. Par conséquent, l'IA supprime les emplois à revenu moyen et maintient de nombreux emplois à faible revenu. (Joshi, 2017 © avec l'aimable autorisation de Guardian News & Media Ltd)

L'IA et d'autres technologies de pointe élargissent l'éventail des emplois hautement qualifiés qui exigent des capacités créatives et analytiques uniques ainsi que des interactions humaines. Pour résumer, de nombreux travailleurs pourraient voir leur emploi disparaître ; ils devront acquérir de nouvelles compétences – en se perfectionnant ou en acquérant de nouvelles qualifications – pour pouvoir accéder aux professions créées par l'IA. Les ministères de l'Éducation et les organismes de formation doivent anticiper ces changements, auprès des travailleurs d'aujourd'hui et des générations de demain, en les préparant aux compétences professionnelles techniques et sociales nécessaires, afin de faciliter la transition vers un monde dominé par l'IA, tout en assurant une forme de viabilité sociale.

De fait, de nombreuses structures nationales à travers le monde ont commencé à élaborer des plans stratégiques pour répondre aux questions sur l'avenir de l'IA. Par exemple, aux États-Unis, le plan stratégique national de recherche et de développement en matière d'intelligence artificielle (*National Science and Technology Council*, 2016) encourage les investissements et la recherche à long terme dans le domaine des approches théoriques et pratiques de l'IA : sont particulièrement concernées l'analyse des données, la perception de l'IA, les limites théoriques, l'intelligence générale artificielle, l'IA évolutive ou extensive, la robotique humanoïde pilotée par l'IA, l'IA consciente de l'humain (en anglais *human aware AI*) et l'augmentation humaine (l'humain augmenté). En 2017, le gouvernement chinois a annoncé son plan de développement de l'intelligence artificielle de nouvelle génération (Gouvernement de la République populaire de Chine, 2017). Là encore, ce plan était centré sur un éventail d'approches théoriques et pratiques de l'IA, notamment l'intelligence basée sur les *big data*, l'intelligence cross-média, l'intelligence augmentée hybride homme-machine, l'intelligence collective, l'intelligence autonome, l'apprentissage automatique avancé, l'intelligence inspirée par le cerveau et l'intelligence quantique. Plus important encore, ces deux plans mettent l'accent sur le potentiel d'interactions fluides entre les humains et les systèmes d'IA, et tous deux visent à aider à concrétiser le potentiel des avantages sociaux et économiques de l'IA tout en minimisant les impacts négatifs.

3. Comprendre l'IA et l'éducation : pratiques émergentes et évaluation des avantages et des risques

L'introduction de l'IA dans le champ éducatif remonte aux années 1970. À cette époque, les chercheurs souhaitent voir comment les ordinateurs peuvent remplacer le tutorat humain individuel, qui est considéré comme l'approche la plus efficace de l'enseignement mais auquel la plupart des individus n'ont pas accès (Bloom, 1984). Les premières expérimentations ont utilisé des techniques d'IA basées sur des règles pour adapter ou personnaliser automatiquement l'apprentissage pour chaque apprenant (Carbonell, 1970 ; Self, 1974). Depuis ces débuts, l'application de l'IA à l'éducation s'est développée dans de multiples directions, en commençant par l'IA axée sur les étudiants (avec des outils conçus en soutien de l'apprentissage et de l'évaluation), pour inclure ensuite l'IA axée sur les enseignants (conçue comme aide à l'enseignement) et l'IA axée sur les systèmes (conçue pour faciliter la gestion des établissements d'enseignement) (Baker et al., 2019). Et l'interaction entre l'IA et l'éducation va plus loin, au-delà de l'utilisation de l'IA dans les salles de classe (c'est-à-dire l'apprentissage avec l'IA), pour enseigner ses techniques (c'est-à-dire l'apprentissage relatif à l'IA) et préparer les citoyens à vivre à l'ère de l'IA (c'est-à-dire l'apprentissage en vue de la collaboration homme-IA). L'introduction de l'IA dans le champ éducatif met également en lumière les questions de pédagogie, de structures d'organisation, d'accès, d'éthique, d'équité et de durabilité – pour automatiser quelque chose, il faut d'abord en avoir une connaissance fine.

De plus, si on veut que le potentiel de l'IA dans le domaine de l'éducation au développement durable soit pleinement exploité, il faut identifier et mettre à profit tous les avantages possibles des outils, tout en connaissant et en minimisant les risques. Par conséquent, il faut aussi que les modes d'organisation de l'éducation soient réexaminés en permanence, ce qui pourrait mener à une refonte majeure des fondements de l'éducation, avec pour principal objectif celui de répondre à l'ODD 4. Nous devons également nous demander ce que l'introduction de l'IA dans le champ éducatif pourrait permettre de réaliser : quels avantages concrets

l'IA pourrait-elle apporter ? Comment faire en sorte que l'IA réponde à des besoins réels et ne soit pas seulement la dernière mode en matière de technologies éducatives ? Que devons-nous permettre à l'IA de faire ?

Pour exploiter pleinement les possibilités et atténuer les risques potentiels, il est nécessaire d'apporter des réponses systémiques à trois questions politiques fondamentales :

1. Comment l'IA peut-elle être utilisée en tant que levier pour améliorer l'éducation ?
2. Comment pouvons-nous garantir l'utilisation éthique, inclusive et équitable de l'IA dans le champ éducatif ?
3. Comment l'éducation peut-elle préparer les humains à vivre et à travailler avec l'IA ?

Afin d'aider les systèmes éducatifs à relever ces défis complexes, l'UNESCO, en coopération avec le gouvernement chinois, a organisé en 2019 à Pékin la Conférence internationale sur l'intelligence artificielle et l'éducation, portant sur le thème « Planifier l'éducation à l'ère de l'IA : Un bond en avant ». Parmi ses participants figuraient plus de 50 ministres et vice-ministres de gouvernement ou secrétaires d'État, aux côtés d'environ 500 représentants internationaux de plus de 100 États membres, d'agences des Nations Unies, d'institutions universitaires, d'organisations de la société civile et du secteur privé. Ils ont examiné les impacts systémiques de l'IA dans le cadre de l'ODD 4 – « Éducation 2030 et l'avenir de l'éducation après 2030 ». Le principal résultat de la conférence a été le « Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation » (UNESCO, 2019a), qui propose une compréhension commune des problèmes-clés et des recommandations stratégiques relatives aux trois questions stratégiques susmentionnées. Les principales recommandations formulées dans le Consensus de Beijing sont référencées tout au long de cette publication.

La suite de ce chapitre examine les principales tendances et questions relatives à l'IA dans le champ éducatif, ainsi que le rapport bénéfices-risques et les implications pour les réponses politiques.

3.1 Comment l'IA peut-elle être mise à profit pour améliorer l'éducation ?

Au cours de la dernière décennie, l'utilisation d'outils d'IA pour aider ou améliorer l'apprentissage a connu une croissance exponentielle (Holmes et al., 2019). Cette tendance n'a fait que s'accroître à la suite de la fermeture des établissements scolaires due au Covid 19. Cependant, les preuves restent rares quant à la façon dont l'IA peut améliorer les résultats de l'apprentissage et quant à savoir si elle peut aider les scientifiques et les professionnels de l'éducation à mieux comprendre comment un apprentissage efficace se produit (Zawacki-Richter et al., 2019).

” **La plupart des affirmations relatives au potentiel révolutionnaire de l'IA dans l'éducation sont fondées sur des conjectures, des spéculations et de l'optimisme.** (Nemorin, 2021)

Il nous reste aussi à explorer le potentiel de l'IA pour le suivi des résultats d'apprentissage dans différents contextes et dans l'évaluation des compétences, notamment celles acquises dans des contextes non formels ou informels.

Les applications d'IA dans le domaine éducatif ont été divisées en trois grandes catégories : celles tournées vers le système, vers l'étudiant et vers l'enseignant (Baker et al., 2019). Cependant, pour les décideurs, nous proposons un ensemble de quatre catégories d'applications émergentes et potentielles, fondées sur les besoins : (i) la gestion de l'éducation et les prestations ; (ii) l'apprentissage et l'évaluation ; (iii) l'autonomisation des enseignants et l'amélioration de l'enseignement ; (iv) l'apprentissage tout au long de la vie. Chacune de ces catégories est illustrée par quelques cas. Reconnaissons par ailleurs que les catégories proposées sont chacune intrinsèquement liées les unes aux autres : les applications de l'IA dans le champ éducatif peuvent avoir le potentiel de répondre aux besoins dans plus d'un domaine. Par exemple, les applications de tutorat peuvent être conçues dans le but d'aider à la fois les enseignants et les élèves.

Nous proposons également que la planification et les politiques d'adoption des technologies d'IA dans les contextes éducatifs soient basées sur les besoins locaux immédiats et à long terme, plutôt que sur le marché, et que des analyses bénéfices-risques soient menées avant toute adoption à grande échelle de ces technologies. En particulier, alors que les partisans de l'IA ont suggéré qu'elle offre une solution toute faite aux problèmes causés par les fermetures d'écoles liées au Covid 19, avec le passage à l'apprentissage en ligne, il n'existe actuellement que peu de preuves pour affirmer qu'une telle approche est pertinente ou efficace.

L'utilisation de l'IA pour la gestion de services éducatifs et leur mise en œuvre

Les technologies d'IA sont de plus en plus utilisées pour faciliter la gestion de l'enseignement et les prestations

qui y sont attachées. Plutôt que de soutenir directement l'enseignement ou l'apprentissage, ces applications orientées système sont conçues pour automatiser certains aspects de l'administration scolaire, en s'appuyant sur les systèmes d'information de la gestion de l'éducation (Villanueva, 2003), et notamment les inscriptions, les emplois du temps, le contrôle de présence et le suivi des devoirs à la maison, ainsi que les contrôles. Il arrive qu'une méthode d'exploration des données appelée « analyse de l'apprentissage » (en anglais *learning analytics*, du Boulay et al., 2018) soit utilisée pour analyser les *big data* (données massives) générées dans les systèmes de gestion de l'apprentissage afin de fournir des informations aux enseignants et aux administrateurs, et parfois des conseils aux étudiants. Par exemple, certaines analyses prédisent quels sont les étudiants qui présentent des risques d'échec. Les résultats prennent souvent la forme de « tableaux de bord » visuels (Verbert et al., 2013) et sont utilisés pour éclairer la prise de décision basée sur les données (James et al., 2008 ; Marsh et al., 2006). Les *big data* tirées des systèmes éducatifs pourraient également contribuer à l'élaboration de politiques relatives aux prestations d'enseignement :

” **Les établissements d'enseignement public utilisent de plus en plus le big data pour créer des visualisations des données numériques et interactives, lesquelles peuvent fournir aux décideurs des informations actualisées sur le système éducatif.** (Giest, 2017, p. 377)

Par exemple, les données produites par les systèmes de gestion de l'apprentissage mis en place pour les réfugiés pourraient aider à déterminer l'offre optimale en matière de possibilités d'éducation et de soutien. L'IA a également démontré qu'elle pouvait organiser le contenu de l'apprentissage sur les différentes plateformes en fonction de l'analyse des besoins personnalisés et du niveau d'études des apprenants. Un projet vise ainsi à archiver des milliers de ressources éducatives ouvertes, afin de les rendre plus facilement accessibles à tous les apprenants. (Kreitmayer et al., 2018).

Cependant, pour que toute analyse basée sur les données soit utile, avec des conclusions fiables et justes, les données d'origine et celles de substitution (*proxies* en anglais) doivent être exactes et exemptes de biais ou d'hypothèses faiblement étayées : les approches computationnelles appliquées doivent au contraire être à la fois pertinentes et solides – des exigences simples qui, trop souvent, ne sont pas rigoureusement respectées (Holmes et al., 2019). Quoi qu'il en soit, il existe des exemples d'entreprises d'IA qui collectent d'énormes quantités de données relatives aux étudiants dans le seul but d'utiliser des techniques d'apprentissage automatique pour « rechercher des motifs ». L'objectif est d'améliorer l'apprentissage en apprenant

au logiciel à identifier les risques de confusion ou d'ennui de la part des élèves, afin de les aider à être plus actifs. Néanmoins, cette approche est controversée, et ce type de collecte de données est qualifié d'« évaluations très criticables, voire nocives pour la santé mentale [...], [qui] conduisent à voir les enfants comme des patients potentiels nécessitant un traitement » (Herold, 2018).

Dans certains contextes, les outils d'IA de cette catégorie ont également été utilisés pour surveiller l'attention des élèves en classe (Connor, 2018), tandis que d'autres ont été utilisés pour contrôler l'assiduité (Harwell, 2019) et prédire les performances des enseignants, avec des conséquences pour le moins préoccupantes (O'Neil, 2017). Il ne faut pas négliger ces aspects des applications orientées système dans la discussion d'ensemble sur l'IA et l'éducation.

Exemples prometteurs

■ Les chatbots éducatifs. Les chatbots sont des programmes informatiques en ligne qui utilisent des services du nuage (le cloud) et des techniques d'IA pour tenir des conversations avec des personnes. L'utilisateur humain pose une question, par écrit ou oralement, et le chatbot lui répond, en fournissant des informations ou en effectuant une tâche simple. Les chatbots peuvent être plus ou moins sophistiqués. Alors que la plupart des chatbots utilisent des règles et des mots-clefs pour sélectionner des réponses préprogrammées, les chatbots d'assistance virtuelle (tels que Siri²⁰, Alexa²¹, DuerOS²² et Xiaoyi²³) utilisent le traitement du langage naturel et l'apprentissage automatique pour produire des réponses spécifiques. Dans le champ éducatif, les chatbots sont utilisés pour un nombre croissant d'applications. Il s'agit, par exemple, de faciliter l'admission des étudiants (« Quels cours d'informatique avez-vous ? »), de fournir des informations 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 (« Quand dois-je rendre mon devoir ? ») et d'aider directement à l'apprentissage (potentiellement dans le cadre d'un système de tutorat basé sur le dialogue (STBD, DBTS en anglais) ou d'une approche STBD (voir page 16), en engageant l'étudiant dans un dialogue oral ou en fournissant un retour d'information automatisé. Parmi les chatbots éducatifs on peut citer Ada²⁴ et Deakin Genie²⁵.

■ OU Analyse²⁶, application d'IA conçue par l'Open University du Royaume-Uni, a été élaborée pour faire des prévisions quant aux résultats des étudiants et identifier ceux qui risquent d'échouer, en analysant les données (big data) du système d'information sur la gestion de l'éducation (SIGE, EMIS en anglais) de l'université. Le résultat des prévisions est mis à la disposition, au moyen de tableaux de bord faciles d'accès, des tuteurs et des équipes de soutien, afin qu'ils puissent envisager le soutien le plus approprié. L'objectif global est de permettre aux étudiants qui pourraient avoir des difficultés de réussir et valider leurs cours (Herodotou et al., 2017).

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

10. Avoir à l'esprit la manière radicalement nouvelle dont les données sont utilisées pour transformer les processus de planification des politiques fondés sur des données factuelles. Envisager d'intégrer ou de développer des technologies et des outils d'IA pertinents pour perfectionner les systèmes d'information sur la gestion de l'éducation (SIGE) et améliorer ainsi la collecte et le traitement des données, de telle sorte que l'éducation soit gérée et dispensée de manière plus équitable, inclusive, ouverte et personnalisée.
11. Envisager également d'introduire dans différents établissements et cadres d'apprentissage de nouveaux modèles d'enseignement et de formation rendus possibles par l'utilisation de l'IA, afin de répondre aux besoins de différentes catégories d'acteurs telles que les élèves, le personnel enseignant, les parents et les collectivités publiques.

(UNESCO, 2019a, pp. 17-18)

■ Swift est un ensemble de méthodes développées par l'entreprise indienne Swift eLearning Services pour aider les SIGE à exploiter les données générées dans le cadre d'un module d'apprentissage en ligne.²⁷ Les données collectées à partir des interactions avec l'apprenant fournissent de précieuses informations sur les moments auxquels cet apprenant peut avoir des difficultés ou au contraire, connaître la réussite, et les raisons qui conduisent à cette situation. L'analyse de ces données permet de créer des parcours d'apprentissage personnalisés, adaptés aux préférences de l'apprenant.

■ Aux États-Unis, le système ALP²⁸ fournit une fonctionnalité d'IA en arrière-plan comme support pour les technologies éducatives standard. Le système analyse les données des utilisateurs et les agrège pour créer des profils psychométriques à partir des interactions, des préférences et des résultats de chaque élève.

■ Basé aux États-Unis, mais impliquant des organisations de quatre continents, le projet UniTime²⁹ est un système complet de planification de l'éducation alimenté par l'IA ; ce système gère pour les universités les horaires des cours et des examens, ainsi que les changements d'horaires et de salles, et fournit aux étudiants des emplois du temps individualisés.

L'utilisation de l'IA pour l'apprentissage et l'évaluation

L'utilisation des technologies basées sur l'IA, qui sont pour la plupart à destination des étudiants, a reçu la plus grande attention de la part des chercheurs, des développeurs, des éducateurs et des décideurs politiques. Ces applications, qui ont été annoncées comme constituant une « Quatrième Révolution de l'éducation » (Seldon et Abidoye, 2018), visent à fournir à chaque apprenant, où qu'il se trouve dans le monde, un accès à un apprentissage tout au long de la vie (formel, informel et non formel) qui soit de qualité, personnalisé et disponible en tout temps et en tous lieux. Il existe également des possibilités, avec l'IA, de faciliter de nouvelles approches de l'évaluation, comme l'évaluation adaptative et continue

basée sur l'IA (Luckin, 2017). Cependant, il faut reconnaître d'emblée que l'utilisation de l'IA pour l'apprentissage et l'évaluation soulève diverses questions qui n'ont pas encore été correctement prises en compte. Il s'agit notamment des préoccupations relatives à l'approche pédagogique, au manque de preuves irréfutables quant à l'efficacité et du possible impact sur le rôle des enseignants, mais aussi de questions éthiques plus larges (Holmes et al., 2018b, 2019).

Les systèmes de tutorat intelligents

Il y a plusieurs raisons pour que nous commençons la discussion sur l'utilisation de l'IA pour l'apprentissage et l'évaluation par un ensemble d'outils connus sous le nom de « systèmes de tutorat intelligents » (STI). De toutes les applications éducatives de l'IA, ce sont les STI qui font l'objet des recherches les plus longues (depuis plus de 40 ans). Ce sont les applications les plus courantes de l'IA dans l'éducation et elles ont été expérimentées par plus d'étudiants que toute autre. En outre, elles ont attiré le plus haut niveau d'investissement et d'intérêt de la part des principales entreprises technologiques du monde, et elles ont été adoptées dans les systèmes éducatifs du monde entier pour être utilisées par des millions d'étudiants.

D'une manière générale, les STI fonctionnent en fournissant des tutoriels étape par étape, individualisés pour chaque élève, sur des sujets structurés tels que les mathématiques ou la physique. Le système détermine un parcours optimal via du matériel et des activités d'apprentissage, en s'appuyant sur des connaissances spécialisées sur le sujet et les sciences cognitives, ainsi qu'en réagissant aux incompréhensions et aux succès de chaque élève. Cette approche est aussi parfois mise en œuvre dans des systèmes de gestion de l'apprentissage, tels que Moodle³⁰ et Open edX³¹, ou des plateformes telles que la Khan Academy³².

Au fur et à mesure que l'élève s'engage dans les activités d'apprentissage, le système utilise le traçage des connaissances³³ et l'apprentissage automatique pour ajuster automatiquement le niveau de difficulté et fournir des conseils ou des indications en fonction des forces et des faiblesses de l'élève, le tout dans le but de s'assurer que celui-ci est en mesure d'apprendre efficacement. Certains STI saisissent et analysent également des données sur l'état affectif de l'élève, notamment en surveillant son regard pour apprécier son niveau d'attention.

Cependant, bien que cela soit séduisant, au point de vue intuitif, il est important de reconnaître que les hypothèses incarnées par les STI, et leur approche instructionniste, typique de l'enseignement par la transmission des connaissances, ignorent les possibilités d'autres approches valorisées par les sciences de l'apprentissage, telles que l'apprentissage collaboratif, l'apprentissage par la découverte guidée et l'échec productif (Dean Jr. et Kuhn, 2007). En particulier, l'« apprentissage personnalisé » fourni par les STI ne personnalise généralement que les voies d'accès au contenu prescrit, au lieu de promouvoir l'autonomie de l'étudiant en individualisant les résultats de son apprentissage

et en lui permettant de réaliser ses propres ambitions. En outre, bien que certaines études aient montré que certains STI conçus par des chercheurs supportent la comparaison avec l'enseignement en classe entière (par exemple, du Boulay, 2016), et même s'ils ont été achetés par de nombreux systèmes éducatifs dans le monde, il existe en fait peu de preuves solides selon lesquelles les STI commerciaux sont aussi efficaces que leurs concepteurs le prétendent (Holmes et al., 2018a).

L'utilisation intensive des systèmes tutoriels intelligents (STI) soulève d'autres problèmes. Par exemple, ils ont tendance à réduire les contacts humains entre les élèves et les enseignants. De plus, dans une classe STI typique, l'enseignant passe souvent beaucoup de temps à son bureau afin de surveiller le tableau de bord des interactions entre les élèves. S'il choisit de se déplacer dans la salle, comme il pourrait le faire dans une classe « non STI », il perd le contrôle de ce que font les élèves, ce qui ne l'aide pas à décider à qui accorder une attention personnelle. Pour résoudre ce problème, une extension STI appelée Lumilo (Holstein et al., 2018) utilise des lunettes intelligentes à réalité augmentée pour faire « flotter » au-dessus de la tête de chaque élève des informations sur son apprentissage (par exemple, les malentendus ou les incompréhensions) ou son comportement (par exemple, l'inattention), donnant de manière continue à l'enseignant des informations complètes à partir desquelles il peut agir. Il s'agit d'une utilisation assez fascinante d'une technologie d'IA intelligente, mais qui, il faut le noter, a été conçue pour résoudre un problème qui n'a été déclenché que par une autre utilisation de l'IA. Il s'agit également d'une approche qui soulève des questions relatives aux droits de l'homme, notamment le droit à la vie privée.

À l'échelle mondiale, plus de 60 STI commerciaux sont aujourd'hui disponibles, notamment Alef³⁴, ALEKS³⁵, Byjus³⁶, Mathia³⁷, Qubena³⁸, Riiid³⁹ et Squirrel AI.⁴⁰ Hi-Tech Hi-Touch, approche qui vise à tirer parti du meilleur des STI et du meilleur des enseignants, est actuellement testée par la Commission de l'éducation dans les écoles du Vietnam⁴¹.

Les systèmes de tutorat basés sur le dialogue

Les systèmes de tutorat basés sur le dialogue (STBD, DBTS en anglais) utilisent le traitement du langage naturel et d'autres techniques d'IA pour simuler oralement un dialogue d'assistance entre des tuteurs humains et des étudiants qui travaillent pas à pas sur des tâches en ligne, le plus souvent dans des domaines relevant de l'informatique, mais plus récemment aussi dans des domaines organisés de manière moins systématique. Les STBD adoptent une approche socratique du tutorat, de type maïeutique, en posant des questions générées par l'IA plutôt qu'en donnant des instructions, afin de tenir une conversation dans laquelle les étudiants sont guidés pour découvrir par eux-mêmes une solution appropriée à un problème. L'objectif est d'encourager les élèves à co-créditer des explications dans le but d'atteindre une compréhension approfondie du sujet préférable à la

compréhension superficielle que peuvent produire certains STI d'enseignement.

On compte à ce jour relativement peu de STSD utilisés. La plupart existent dans le cadre de projets de recherche. Le plus testé est AutoTutor (Graesser et al., 2001). Watson Tutor est quant à lui un système commercial développé par IBM et Pearson Education.⁴²

Les environnements d'apprentissage exploratoires

Les environnements d'apprentissage exploratoire (EAE, *ELEs* en anglais) offrent un autre choix que les approches pas à pas des STI et des STBD. Ces environnements répondent à une philosophie constructiviste : plutôt que de suivre une séquence étape par étape comme le modèle de « transmission des connaissances » prôné par les STI, les étudiants sont encouragés à construire de manière active leurs propres connaissances en explorant l'environnement d'apprentissage et en établissant des liens avec leurs schémas de connaissances existants. Le rôle de l'IA dans les EAE est de minimiser la surcharge cognitive qui est souvent associée à l'apprentissage exploratoire, et ce en fournissant une orientation et un retour d'information automatisés, basés sur le traçage des connaissances et l'apprentissage automatique. Ce retour d'information identifie les incompréhensions et propose des approches alternatives, afin de soutenir l'étudiant pendant son parcours.

De manière générale, les EAE restent encore des objets d'étude cantonnés aux laboratoires de recherche. Parmi les exemples particuliers, on trouve « ECHOES » (Bernardini et al., 2014), « Fractions Lab » (Rummel et al., 2016) et « Betty's Brain » (Leelawong et Biswas, 2008).

L'évaluation automatisée de l'écriture

Plutôt que de faire travailler sur des ordinateurs des étudiants qui reçoivent une aide adaptée en temps réel, l'évaluation automatique des écrits (EAE, AWE en anglais) utilise le traitement du langage naturel et d'autres techniques d'IA pour fournir une appréciation automatique sur les écrits. En général, deux approches de l'évaluation automatique se chevauchent : l'évaluation formative, qui permet à l'étudiant d'améliorer ses écrits avant de les soumettre à l'évaluation, et l'évaluation sommative, qui facilite la notation automatique des écrits des étudiants.

De fait, la plupart des EAE mettent l'accent sur la notation plutôt que sur le retour d'information ; ils ont été conçus principalement pour réduire les coûts d'évaluation et peuvent donc être considérés comme relevant des applications axées sur les systèmes. Cependant, dès ses premières utilisations, l'EAE sommative a été controversée (Feathers, 2019). Par exemple, on lui reproche d'accorder des points aux élèves sur la base de caractéristiques superficielles telles que la longueur des phrases, même si le texte n'a aucun sens – les systèmes peuvent être « trompés par du charabia ». De la même manière, ces systèmes sont incapables d'évaluer le degré de

créativité d'un texte. Plus inquiétant encore, les algorithmes sur lesquels s'appuie l'EAE sont parfois biaisés, au détriment notamment des élèves issus des minorités, et ce peut-être en raison d'une utilisation différente du vocabulaire et de la structure des phrases. Les EAE sommatives ne permettent pas non plus d'accéder facilement aux devoirs scolaires et universitaires relevant du *deep-fake*, c'est-à-dire à ceux rédigés par des technologies d'IA s'appuyant sur une expertise dans le domaine tout en imitant le style personnel de l'étudiant à l'écrit. Il est probable que ces écrits soient très difficiles à détecter.⁴³ Enfin, l'utilisation de l'IA pour noter les devoirs ne reconnaît pas non plus la correction à sa juste valeur. Même si celle-ci risque d'être longue et fastidieuse, elle peut aussi constituer la meilleure occasion pour un enseignant d'apprécier les compétences de ses élèves.

Cependant, certaines EAE destinées aux élèves donnent la priorité à des commentaires qui sont conçus pour être exploitables – pour aider l'élève à s'améliorer à l'écrit et pour encourager des méthodes de qualité, comme l'apprentissage autorégulé et flexible, adaptatif – la « métacognition ». L'EAE, à la fois formative et sommative, est actuellement utilisée dans de nombreux contextes éducatifs, avec des programmes tels que WriteToLearn⁴⁴, e-Rater⁴⁵ ou Turnitin⁴⁶. Une approche connexe, utilisant l'IA pour comparer l'écrit d'un élève avec un large corpus de productions antérieures d'élèves notées par des enseignants, a aussi été utilisée pour évaluer des performances musicales, par exemple avec le programme Smartmusic⁴⁷.

La lecture et l'apprentissage des langues assistés par l'IA

La conception des outils de lecture et d'apprentissage des langues fait de plus en plus appel à l'IA pour chercher à s'améliorer. Par exemple, certains outils utilisent la personnalisation des parcours à la manière des STI conjuguée avec la reconnaissance vocale pilotée par l'IA. En général, la reconnaissance vocale est utilisée pour comparer la production des élèves avec des échantillons enregistrés par des locuteurs natifs, afin de fournir un retour automatique destiné à aider l'élève à améliorer sa prononciation ; d'autres utilisations de la traduction automatique consistent à aider les apprenants à lire des ressources didactiques dans d'autres langues et à permettre aux étudiants de cultures différentes d'interagir plus facilement les uns avec les autres. Certains systèmes, quant à eux, détectent et analysent automatiquement les compétences en lecture afin de fournir aux étudiants un retour d'information individuel. Parmi les applications d'IA pour la lecture et l'apprentissage des langues, on peut citer AI Teacher⁴⁸, Amazing English⁴⁹, Babbel⁵⁰ ou Duolingo⁵¹.

Les robots intelligents

L'utilisation de robots dotés d'une IA ou « robots intelligents » dans le champ éducatif est également étudiée (Belpaeme, 2018), en particulier dans les environnements

destinés aux enfants présentant des troubles ou des difficultés d'apprentissage. Par exemple, des robots humanoïdes à commande vocale ont été créés pour les apprenants avec des troubles du spectre autistique, offrant des interactions mécaniques prévisibles plutôt que des interactions humaines, lesquelles peuvent être déroutantes pour ces apprenants. L'objectif est de développer la communication et les compétences sociales (Dautenhahn et al., 2009).

Un autre exemple est celui des robots en téléprésence permettant aux élèves qui ne peuvent pas se rendre à l'école, que ce soit en raison d'une maladie ou d'une crise humanitaire ou de réfugiés, d'accéder à une salle de classe⁵². Un troisième exemple est l'utilisation de robots humanoïdes, tels que Nao⁵³ ou Pepper⁵⁴ dans des classes de maternelle à Singapour (Graham, 2018), pour initier les jeunes enfants à la programmation informatique et à d'autres sujets relevant des STIM.

Les agents d'apprentissage

On sait depuis longtemps que l'on peut acquérir des connaissances sur un sujet plus en profondeur et de manière plus durable en l'enseignant à d'autres (Cohen et al., 1982). Cette observation a été exploitée par diverses approches d'IA. Trois exemples : avec Betty's Brain (cf. supra), les élèves sont invités à enseigner l'écosystème d'une rivière à une camarade virtuelle appelée Betty ; dans un projet de recherche suédois, l'étudiant enseigne à un agent virtuel les règles d'un jeu éducatif basé sur les mathématiques (Pareto, 2009) ; en Suisse, de jeunes enfants enseignent l'écriture à un robot humanoïde⁵⁵ – cette approche s'est avérée stimulante pour la métacognition, l'empathie et la confiance en soi (Hood et al., 2015).

La réalité virtuelle et augmentée à des fins éducatives

La réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) sont deux innovations connexes mises en œuvre dans le champ éducatif et fréquemment combinées avec l'apprentissage automatique et d'autres techniques d'IA pour améliorer l'expérience de l'utilisateur. La RV est utilisée dans l'enseignement de nombreuses matières, de la maternelle à la terminale et au-delà, en particulier pour l'astronomie, la biologie ou la géologie. Les lunettes de RV offrent une expérience immersive hors du monde concret, permettant aux utilisateurs d'éprouver des sensations comme s'ils avaient été transportés dans des environnements réels ou imaginaires (la surface de Mars, l'intérieur d'un volcan, un utérus humain dans lequel un fœtus se développe...). Certaines innovations en matière de RV utilisent des techniques d'IA pour contrôler des avatars virtuels réalistes, permettre la commande vocale à l'aide du traitement du langage naturel, ou encore générer des environnements complets à partir de quelques images de départ.

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

13. Examiner et définir de manière dynamique, dans le contexte des politiques relatives aux enseignants, les rôles joués par ces derniers et les compétences qui sont exigées d'eux, renforcer les centres de formation des enseignants et élaborer des programmes de développement des capacités appropriés, qui préparent le personnel enseignant à travailler efficacement dans des contextes éducatifs riches en ressources d'IA.
14. Être au fait des tendances en ce qui concerne les possibilités offertes par l'IA de faciliter l'apprentissage et l'évaluation des acquis, et revoir et ajuster les systèmes éducatifs pour favoriser une intégration approfondie de l'IA et une transformation des méthodologies de l'enseignement. Envisager d'appliquer les outils d'IA disponibles ou de mettre au point des solutions d'IA novatrices pour faciliter l'exécution de tâches d'apprentissage bien définies dans différentes matières là où les avantages liés à l'utilisation de l'IA l'emportent clairement sur les risques, et de soutenir l'élaboration d'outils d'IA pour l'acquisition d'aptitudes et de compétences interdisciplinaires.
15. Appliquer ou mettre au point des outils d'IA pour faciliter les processus d'apprentissage adaptatifs ; mettre à profit les possibilités d'utiliser les données pour mesurer les multiples dimensions des compétences des élèves ; et promouvoir les évaluations à grande échelle et à distance.

(UNESCO, 2019a, pp. 18-19)

La RA, quant à elle, superpose des images générées par ordinateur à la vision du monde réel de l'utilisateur (un peu comme l'affichage dit « tête haute » d'un pilote de chasse).

La RA est l'approche utilisée par Lumilo (cf. supra) pour faire flotter au-dessus de la tête d'un élève des informations sur ses performances en matière de STI. Lorsque l'appareil photo d'un smartphone est pointé sur un code QR spécifique, un cœur humain en 3D peut apparaître via la RA et être exploré en détail. La RA peut également être utilisée dans la reconnaissance et le suivi des images par l'IA. C'est la technologie qui permet, sur certains téléphones mobiles et sites tels qu'Instagram ou Snapchat, de placer des oreilles de lapin ou des moustaches de chat sur des images de personnes. Parmi les exemples de RV et de RA utilisés dans l'éducation, citons Blippar⁵⁶, EonReality⁵⁷, Google Education⁵⁸, NeoBear⁵⁹, et VR Monkey⁶⁰.

Les orchestrateurs de réseaux d'apprentissage

Les orchestrateurs de réseaux d'apprentissage (ORA, LNO en anglais) sont des outils qui permettent aux étudiants et aux enseignants en réseau de s'impliquer dans l'apprentissage et d'organiser des activités en rapport avec cet apprentissage. Les ORA associent et rassemblent généralement les participants en fonction de leur disponibilité, de leur domaine et de leur expertise, et peuvent faciliter la coordination et la coopération.

Par exemple, « Third Space Learning » met en relation des élèves du Royaume-Uni qui risquent d'échouer en mathématiques avec des tuteurs en mathématiques dans d'autres pays⁶¹. On peut également citer « Smart Learning Partner », plateforme pilotée par l'IA, qui permet aux élèves

de choisir un tuteur humain et d’entrer en contact avec cette personne via leur téléphone portable, un peu à la manière d’une application de rencontres, pour bénéficier d’un soutien individuel ⁶².

L’apprentissage collaboratif basé sur l’IA

L’apprentissage collaboratif, dans lequel les étudiants travaillent ensemble pour résoudre des problèmes, est connu pour améliorer les résultats d’apprentissage (Luckin et al., 2017), mais il est parfois difficile de mettre en œuvre une coopération efficace entre les apprenants. L’IA peut transformer l’apprentissage collaboratif de différentes manières : un outil peut aider à connecter les apprenants à distance ; il peut identifier les étudiants les mieux adaptés à des tâches collaboratives particulières et les regrouper en fonction de cette donnée ; ou il peut contribuer activement, en tant qu’agent virtuel, aux discussions de groupe. Bien qu’aucun exemple précis n’ait été identifié, il s’agit actuellement d’un domaine d’intérêt pour la recherche (voir par exemple Cukurova et al., 2017).

L’utilisation de l’IA pour renforcer les capacités et compétences des enseignants et améliorer l’enseignement

Malgré leur potentiel d’autonomisation des enseignants, les applications d’IA destinées aux enseignants, pour les renforcer dans leur rôle et améliorer l’enseignement, a jusqu’à présent fait l’objet de beaucoup moins d’attention que les applications d’IA destinées aux étudiants, celles qui par définition remplacent l’enseignant. À l’heure actuelle, les chercheurs et les développeurs qui conçoivent des applications destinées aux enseignants ne placent souvent ceux-ci qu’à la fin du processus, par exemple en ajoutant un tableau de bord pour afficher les données des élèves accompagnés par un STI. Ce problème commence toutefois à être traité.

De nombreuses applications d’IA à destination des enseignants visent à les aider à réduire leur charge de travail en automatisant des tâches telles que l’évaluation, la détection du plagiat, l’administration et le retour d’informations. On fait souvent valoir que ces outils devraient permettre aux enseignants de libérer du temps qu’ils pourront consacrer à d’autres tâches, par exemple apporter un soutien plus efficace à chaque élève. Toutefois, à mesure que l’IA se développe, les enseignants deviennent potentiellement déchargés d’un si grand nombre de tâches qu’on peut avoir l’impression que le besoin d’enseignants se réduit à presque rien. Si cela peut présenter certains avantages dans des contextes où il existe peu d’enseignants, l’objectif qui consisterait à éliminer le besoin d’avoir des enseignants humains révèle une incompréhension fondamentale du rôle social essentiel qu’ils jouent dans le processus d’apprentissage.

Néanmoins, il est largement admis qu’à mesure que les outils d’IA deviennent plus disponibles dans les salles de classe, le

rôle des enseignants va évoluer. Le point qui reste à éclaircir est la manière dont cela va se passer. Nous savons déjà que les enseignants devront acquérir de nouvelles compétences pour pouvoir travailler efficacement avec l’IA et évoluer au point de vue professionnel pour renforcer leurs compétences humaines et sociales.

La surveillance des forums de discussion par l’IA

Les technologies d’IA sont utilisées pour soutenir l’enseignement en ligne, notamment pour aider les enseignants ou les animateurs à surveiller les forums de discussion asynchrones. Sur ces forums, les étudiants effectuent des tâches données, posent des questions sur les supports de cours à leurs tuteurs et s’impliquent dans l’apprentissage collaboratif. Cela génère le plus souvent un grand nombre de messages, qui doivent tous être modérés et traités. L’IA peut apporter une aide sous plusieurs formes : un outil peut trier les messages du forum et répondre automatiquement aux plus simples, regrouper les messages qui touchent à des problèmes communs ou utiliser l’analyse des affects pour identifier les messages qui révèlent des états émotionnels négatifs ou improductifs. Considérées toutes ensemble, ces techniques pourraient également permettre aux tuteurs humains d’être tenus informés des opinions et des inquiétudes collectives des étudiants. L’assistant d’intelligence artificielle « Jill Watson », basé sur la plateforme Watson d’IBM et mis au point à Georgia Tech, aux États-Unis, en est une illustration, même s’il pose certains problèmes éthiques. Il est chargé de trier les messages des forums et de répondre aux questions lorsque cela est possible (par exemple : « Quand dois-je rendre mon devoir ? »), tout en faisant suivre les messages plus complexes aux tuteurs humains. Cet assistant répondait automatiquement à certaines questions des étudiants et leur envoyait des courriels concernant leurs devoirs (Goel et Polepeddi, 2017). Bien qu’elle ait été jugée efficace, l’application a été critiquée au point de vue éthique car elle trompait les étudiants en leur faisant croire que l’assistant d’IA était une vraie personne – en retardant ses réponses et en utilisant des traits d’humour, par exemple.

Le modèle du « double enseignant » IA-humain

À quelques notables exceptions près, une grande partie des applications l’IA dans le champ éducatif ont été conçues – intentionnellement ou non – pour exécuter certaines tâches des enseignants à leur place plutôt que pour les aider à enseigner plus efficacement. Certaines écoles des zones rurales isolées de Chine utilisent déjà ce que l’on appelle un « modèle à deux enseignants ». Dans cette approche, un enseignant confirmé donne à distance un cours par vidéo à des élèves qui reçoivent des conseils complémentaires de la part d’un enseignant local moins expérimenté (iResearch Global, 2019). Il est possible que dans le futur un assistant de l’IA puisse remplir l’un de ces rôles. L’IA pourrait aider l’enseignant humain dans de nombreuses tâches, notamment

en fournissant une expertise de spécialiste ou des ressources de développement professionnel, en coopérant avec des collègues, à l'intérieur et à l'extérieur de la classe proprement dite, en surveillant les performances des élèves et en suivant les progrès au fil du temps. Ce qu'il faut enseigner aux élèves et la manière de le faire resteraient la responsabilité et la prérogative de l'enseignant. Le rôle de l'outil d'IA consisterait simplement à faciliter le travail de l'enseignant et à le rendre plus collégial. Un exemple est la « classe d'IA LeWaijiao »⁶³, conçue pour aider les enseignants afin qu'ils puissent effectuer toutes les tâches-clefs.

Les assistants pédagogiques alimentés par l'IA

Nous l'avons déjà mentionné, de nombreuses technologies sont conçues dans le but de soulager les enseignants d'activités chronophages telles que le contrôle des présences, la correction des devoirs et les réponses sans fin aux questions redondantes. Ce faisant, néanmoins, elles « prennent en charge » une grande partie de l'enseignement (certaines prétendent fournir des activités d'apprentissage personnalisées « mieux que » les enseignants), interfèrent dans la relation enseignant-élève et peuvent réduire les enseignants à un rôle fonctionnel. Par exemple, l'un des objectifs de l'évaluation automatique de l'écriture (EAE) est

de soulager les enseignants de la charge de la notation. Cependant, comme nous l'avons relevé, si la correction peut être pesante, elle constitue souvent une occasion parfaite pour les enseignants de connaître les stratégies et les capacités de leurs élèves. Cette opportunité risque d'être perdue avec l'utilisation de l'EAE.

En outre, il est évident que cette approche sous-estime les compétences et l'expérience irremplaçable des enseignants, ainsi que les besoins des apprenants relatifs aux rapports sociaux et à l'accompagnement. Au lieu de se contenter d'automatiser l'enseignement assisté par ordinateur, l'IA pourrait contribuer à ouvrir des possibilités d'enseignement et d'apprentissage difficiles à réaliser sans son apport, ou qui remettent en question, voire bousculent, les pédagogies existantes. Une telle approche viserait à développer l'expertise d'un enseignant, par exemple au moyen d'un assistant d'enseignement de l'IA (AI TA en anglais) (Luckin et Holmes, 2017). Il existe des applications d'IA conçues pour fournir aux enseignants et aux écoles les moyens de faciliter les évolutions de l'apprentissage. Certaines recherches ont été entreprises à ce sujet, mais de nombreuses questions techniques et éthiques doivent être résolues avant que leurs résultats puissent être exploités dans des contextes réels.

3.2 Comment l'IA peut-elle être exploitée au mieux pour le bien commun dans le champ éducatif ?

Comme nous l'avons vu, l'IA est déjà utilisée de multiples façons dans divers contextes éducatifs. Cependant, bien qu'elles fassent appel à des technologies de pointe, ces applications se contentent souvent d'automatiser certaines pratiques scolaires obsolètes, au lieu d'utiliser les possibilités uniques de l'IA pour ré-imaginer l'enseignement et l'apprentissage. En d'autres termes, l'attention des chercheurs et des développeurs de l'IA travaillant dans le domaine de l'éducation s'est jusqu'à présent concentrée sur la mémorisation et le rappel des connaissances, problème qui, malgré sa complexité, reste relativement facile à résoudre. Les projets qui abordent des questions éducatives plus difficiles, comme l'apprentissage collaboratif ou les nouvelles méthodes d'évaluation et d'accréditation, n'ont pas encore fait l'objet de recherches approfondies, et encore moins donné lieu à des commercialisations à grande échelle.

Par conséquent, afin d'encourager le dialogue, nous suggérons ici quelques façons innovantes d'exploiter l'IA pour le bien commun dans le champ éducatif.

Des compagnons pilotés par l'IA pour un apprentissage tout au long de la vie

C'est, à l'origine, le désir de voir chaque élève disposer tout au long de sa vie de son propre tuteur personnalisé qui a inspiré l'utilisation de l'IA dans l'apprentissage. Au point de vue technique, il ne serait sans doute pas difficile de tirer parti

des capacités des smartphones et des technologies connexes pour créer un compagnon d'apprentissage piloté par l'IA susceptible d'accompagner les apprenants sur le long terme. Plutôt que d'enseigner à l'élève à la manière d'un STI, un tel compagnon d'apprentissage fournirait un soutien continu, en s'appuyant sur les intérêts et les objectifs personnels de l'élève, pour l'aider à décider ce qu'il doit apprendre, où et comment. Il pourrait également guider l'élève le long de parcours d'apprentissage individualisés conçus pour l'aider à atteindre ses objectifs les plus récents et à établir un lien entre ses intérêts en matière d'apprentissage et ses réalisations, tout en l'encourageant à réfléchir à ses objectifs à long terme et à les réexaminer régulièrement. Cependant, en dépit de ce potentiel considérable, il n'existe actuellement aucun produit commercial d'apprentissage tout au long de la vie basé sur l'IA, et les recherches dans le domaine sont rares.

L'évaluation continue basée sur l'IA

Bien qu'il existe peu de preuves de leur bien-fondé, de leur fiabilité ou de leur exactitude, les examens d'importance, aux enjeux cruciaux, occupent une place centrale dans les systèmes éducatifs du monde entier. Avec l'existence de tels examens, les écoles et les universités enseignent souvent en fonction du contrôle, en donnant la priorité aux compétences cognitives de routine et à l'acquisition de connaissances (les connaissances du type de celles qui

sont supplantées par l'IA) plutôt qu'à une compréhension approfondie des problèmes et à une application réelle des solutions.

De fait, l'IA est déjà mise en œuvre pour développer les pratiques d'examen existantes. Par exemple, la reconnaissance faciale, la reconnaissance vocale, la dynamique du clavier et l'analyse scientifique, formelle, des textes sont de plus en plus utilisées pour vérifier l'identité des candidats aux examens destinés aux apprenants à distance⁶⁴. Bien que cela puisse présenter des avantages pour certains étudiants (par exemple, ceux qui souffrent d'un handicap et qui ont des difficultés à assister à des examens en face à face), ces outils n'ont pas prouvé leur efficacité à grande échelle et ils reproduisent les problèmes des pratiques d'évaluation basées sur les examens au lieu de les améliorer.

On peut imaginer une autre approche de l'évaluation grâce à des outils d'IA conçus pour suivre en permanence les progrès des élèves, leur fournir un retour d'information ciblé et évaluer leur maîtrise du sujet. L'ensemble de ces informations pourraient être rassemblées tout au long du parcours de l'élève dans un cadre éducatif formel. Si l'utilisation d'une évaluation continue pilotée par l'IA pour remplacer les examens importants peut être vue comme une bonne idée, elle illustre également les deux aspects de l'application de l'IA dans le champ éducatif : les bénéfices et les défis. Permettre aux étudiants de démontrer leurs compétences tout en apprenant est avantageux à certains égards, mais la façon dont cela pourrait être réalisé sans contrôle continu – c'est-à-dire une forme de surveillance – est moins claire. Une telle surveillance soulève de nombreuses questions éthiques.

Les archives des acquis de l'apprentissage tout au long de la vie grâce à l'IA

Un « portefeuille électronique piloté par l'IA » pourrait être utilisé pour rassembler toutes les informations

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

20. Réaffirmer que l'apprentissage tout au long de la vie est le principe qui doit guider la réalisation de l'ODD4 et qu'il englobe l'éducation formelle et informelle. Adopter des plates-formes d'IA et une analytique de l'apprentissage fondée sur les données comme outils techniques essentiels pour construire les systèmes intégrés d'apprentissage tout au long de la vie, et offrant, à tout instant, en tous lieux et potentiellement à quiconque, la possibilité d'un apprentissage personnalisé adapté aux moyens de chacun. Exploiter le potentiel de l'IA s'agissant de mettre en place des parcours d'apprentissage flexibles, et de faciliter la capitalisation, la reconnaissance, la certification et le transfert des résultats d'apprentissage.
21. Garder à l'esprit qu'il importe d'apporter aux besoins des personnes les plus âgées, en particulier les femmes, des réponses politiques appropriées, et d'encourager ces personnes à acquérir les valeurs et les compétences nécessaires pour utiliser l'IA dans leur vie de façon à briser les barrières à l'accès au numérique. Planifier et mettre en œuvre des programmes solidement financés pour donner aux travailleurs plus âgés des compétences et des options qui leur permettront de conserver une activité économique aussi longtemps qu'ils le souhaitent et de participer à la vie sociale.

(UNESCO, 2019a, p. 20)

relatives à l'évaluation continue, enregistrées tout au long de la scolarité d'un étudiant, ainsi que des données sur l'implication de l'étudiant dans l'apprentissage non formel (comme l'apprentissage d'un instrument de musique ou d'une pratique manuelle) et informel (comme l'étude d'une langue). Ce dossier fonctionnerait comme un curriculum vitae intelligent et dynamique qui pourrait être garanti et authentifié par les technologies *blockchain*⁶⁵. Ainsi, les étudiants disposeraient d'un dossier solide et accrédité attestant leurs expériences d'apprentissage et leurs réalisations, potentiellement beaucoup plus détaillé qu'une collection de certificats d'examen. Ils seraient en mesure de partager un accès sécurisé aux parties pertinentes de leur e-portefeuille avec les prestataires d'enseignement supérieur et les employeurs potentiels.

3.3 Comment pouvons-nous garantir l'utilisation éthique, inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation ?

L'utilisation éthique, inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation a un impact sur chacun des Objectifs de Développement Durable. Les questions sont centrées sur les données et les algorithmes, sur les choix pédagogiques, sur l'inclusion et la « fracture numérique », sur le droit des enfants à la vie privée, à la liberté et au développement harmonieux, et sur l'équité en termes de genre, de handicap, de statut social et économique, d'origine ethnique et culturelle, et de situation géographique.

Les nouvelles questions éthiques et juridiques relatives aux données et algorithmes éducatifs

Le déploiement généralisé des technologies de l'IA s'accompagne de risques et de défis multiples, tels que ceux liés à la propriété des données (par exemple, l'exploitation des données à des fins commerciales), le consentement (par exemple, la question de savoir si les élèves sont capables, sur le plan développemental ou juridique, de donner un consentement véritablement éclairé) et la vie privée (par exemple avec l'utilisation de systèmes intrusifs de détection des émotions). Un autre risque est que les biais induits par

les algorithmes puissent porter atteinte aux droits humains fondamentaux. Le fait que les données et l'expertise en matière d'IA sont détenues par un petit nombre de superpuissances technologiques et militaires internationales suscite également des inquiétudes. Pourtant, alors que l'éventail des technologies de l'IA dans l'éducation est large et en pleine expansion,

” **À l'échelle de la planète, pratiquement aucune recherche n'a été entreprise, aucune ligne directrice n'a été arrêtée, aucune politique n'a été élaborée et aucune réglementation n'a été promulguée pour répondre aux questions éthiques spécifiques soulevées par l'utilisation de l'intelligence artificielle dans l'éducation. (Holmes et al., 2018b, p. 552)**

Comme pour l'IA classique, des préoccupations existent quant aux grands volumes de données personnelles collectées pour appliquer l'IA dans l'éducation – un processus qui a été appelé « dataveillance » (Lupton et Williamson, 2017). Qui possède ces données et qui peut y accéder, quelles sont les préoccupations en matière de vie privée et de confidentialité, et comment les données doivent-elles être analysées, interprétées et partagées ? Tous les apprenants sont susceptibles de voir leurs données personnelles mal utilisées ou exposées à un danger, d'autant que moins de 30 % des pays à travers le monde (hors Europe) ont mis en œuvre des lois complètes sur la protection des données.

Une autre préoccupation majeure réside dans les biais, conscients ou inconscients, potentiellement contenus dans les algorithmes d'IA – autrement dit, la façon dont les données sont analysées.

De fait, les algorithmes jouent un rôle de plus en plus important dans la société, par l'automatisation d'un large éventail de tâches, allant des décisions qui influent sur l'obtention d'un emploi à la durée d'incarcération d'une personne. Cependant, les individus sont de plus en plus conscients que les algorithmes ne sont pas aussi neutres que la présentation qui en est faite ; et que, par exemple, ils peuvent systématiser des choses biaisées avec des conséquences négatives plus ou moins importantes pour les individus (Hume, 2017).

Toute analyse biaisée pourrait avoir un impact négatif sur les droits individuels des étudiants (en termes de sexe, d'âge, de race, de statut socio-économique, d'inégalités de revenus, etc.). Ces préoccupations éthiques particulières, centrées sur les données et les déformations subjectives, sont des « inconnues connues » et font l'objet de nombreuses discussions dans le courant dominant de l'IA⁶⁶. Mais il semblerait que l'intérêt que portent les grandes entreprises technologiques au « lavage éthique » augmente, dans le but d'éviter les réglementations nationales ou internationales (Hao, 2019). Il faut aussi tenir compte des « inconnus inconnus », ces questions éthiques qui sont soulevées par l'interaction entre IA et éducation et n'ont pas encore été clairement identifiées. Parmi ces questions éthiques :

- Quels sont les critères à prendre en compte pour définir et actualiser en permanence les limites éthiques de la collecte et de l'utilisation des données des apprenants ?
- Comment les écoles, les élèves et les enseignants peuvent-ils refuser ou contester leur présence dans les très grandes bases de données ?
- Quelles sont les implications éthiques relatives à l'impossibilité d'interroger facilement la manière dont l'IA prend ses décisions (en utilisant des réseaux neuronaux à plusieurs niveaux) ?
- Quelles sont les obligations éthiques des organisations privées (développeurs de produits) et des autorités publiques (écoles et universités impliquées dans la recherche) ?
- Comment non seulement la nature transitoire des intérêts et des émotions des élèves mais aussi la complexité du processus d'apprentissage influencent-elles l'interprétation des données et l'éthique de l'IA appliquée dans des contextes éducatifs ?

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

Veiller à une utilisation éthique, transparente et vérifiable des données et des algorithmes de l'éducation :

28. Avoir à l'esprit que les applications de l'IA peuvent imposer différents types de biais inhérents aux données utilisées comme intrants pour mettre au point la technologie, ainsi qu'à la construction et à l'utilisation des processus et algorithmes. Être conscients des dilemmes que représente la recherche du juste équilibre entre le libre accès aux données et la protection de la vie privée. Être attentifs aux problèmes juridiques et aux risques éthiques liés à la propriété des données, à leur confidentialité et à leur disponibilité pour le bien public. Être conscients de l'importance de l'adhésion des principes d'éthique, de confidentialité et de sécurité lors de la conception des outils d'IA.
29. Tester et adopter les technologies et outils nouveaux en matière d'IA qui garantissent la protection de la confidentialité et de la sécurité des données concernant les enseignants et les élèves. Soutenir des recherches solides et à long terme sur les questions éthiques plus fondamentales que soulève l'IA, en veillant à ce que l'IA soit utilisée à bonne fin et en prévenant ses applications néfastes. Élaborer des lois et des cadres réglementaires détaillés en matière de protection des données afin de garantir une utilisation et une réutilisation éthiques, non discriminatoires, transparentes et vérifiables des données relatives aux apprenants.
30. Ajuster les cadres réglementaires existants ou en adopter de nouveaux pour s'assurer que les outils d'enseignement et d'apprentissage fondés sur l'IA sont développés et utilisés de manière responsable. Faciliter la recherche sur les questions liées à l'éthique de l'IA, à la confidentialité et à la sécurité des données et aux préoccupations que suscitent les incidences négatives de l'IA sur les droits humains et sur l'égalité des genres.

(UNESCO, 2019a, p. 22)

■ Quelles approches pédagogiques sont-elles justifiées d'un point de vue éthique ?

En outre, l'application de l'IA dans le champ éducatif a été critiquée en ce qu'elle est à la fois intrusive et déshumanisante : intrusive parce que certaines applications nécessitent une surveillance continue des actions, des gestes et des émotions des étudiants ; déshumanisante parce que certaines IA exigent que les étudiants s'intègrent dans des méthodes d'enseignement prescriptives, avec une interaction humaine très limitée, en suivant des parcours structurés de contenus atomisés, ce qui réduit le pouvoir des apprenants. Certains cas ont mis en lumière des controverses éthiques, comme l'enregistrement des cours et l'utilisation de l'IA pour analyser la manière dont la qualité des échanges en classe contribue à l'apprentissage (Kelly et al., 2018). L'utilisation de l'IA pour identifier les modèles et les difficultés d'apprentissage peut être moins problématique d'un point de vue éthique si les dispositifs ne sont pas introduits dans les salles de classe de manière intrusive. Il n'en reste pas moins que dans certaines écoles, des caméras de classe pilotées par l'IA sont utilisées pour surveiller le comportement des élèves (Loizos, 2017). Les limites éthiques ont ici été franchies, car la technologie de reconnaissance faciale est installée pour vérifier le degré d'attention des élèves en classe : chaque mouvement des élèves est surveillé par plusieurs caméras placées au-dessus du tableau. Le système fonctionne en identifiant les expressions faciales et en transmettant ces informations à un ordinateur pour juger si les élèves sont concentrés ou non. Dans un exemple, l'ordinateur cible sept émotions différentes : neutre, content, triste, déçu, en colère, effrayé et surpris. S'il conclut que l'élève est distrait, il envoie une notification à l'enseignant pour qu'il agisse en conséquence. Cependant, ces caméras ont augmenté le niveau d'anxiété des élèves et modifié leur comportement spontané : les élèves ont déclaré qu'ils avaient l'impression qu'une mystérieuse paire d'yeux les observait en permanence.

Une autre approche basée sur l'IA va encore plus loin, en utilisant des encéphalogrammes (EEG)⁶⁷, avec des capteurs dans des bandeaux pour détecter l'activité cérébrale lorsqu'un élève est en train d'effectuer une tâche. Là encore, les développeurs affirment que cette technologie présente un potentiel pour améliorer l'apprentissage – affirmation qui a été remise en question par les neuroscientifiques. L'utilisation de ces bandeaux pourrait conduire à des résultats inexacts ou à des conséquences non désirées. Il convient de noter à ce sujet qu'en octobre 2019, l'administration du cyberspace et le ministère de l'Éducation de la Chine ont introduit des règlements visant à freiner l'utilisation dans les écoles de caméras, de bandeaux et d'autres dispositifs alimentés par l'IA (Feng, 2019). Ces règlements exigent que le consentement des parents soit obtenu avant que les technologies d'IA ne soient utilisées avec les élèves. Elles exigent également que toutes les données soient cryptées.

Ces dispositions ont eu pour effet de mettre un terme, même si ce n'est que de manière provisoire, à l'utilisation des technologies de reconnaissance faciale et d'EEG dans les écoles chinoises.

Dans le Consensus de Beijing, l'éthique relative à l'IA dans le champ éducatif est formulée dans les paragraphes 28 à 30. Le Consensus recommande également que tous les gouvernements élaborent et mettent en œuvre des cadres réglementaires afin de garantir le développement et l'utilisation responsables des outils d'IA pour l'éducation et l'apprentissage. Il s'appuie pour ce faire sur la « Recommandation sur l'éthique de l'intelligence artificielle » de l'UNESCO (2020), actuellement en cours d'élaboration.

La fracture entre ceux qui ont et ceux qui n'ont pas accès aux principales technologies numériques, comme l'Internet et l'IA, est une préoccupation qui a des répercussions sur chacun des ODD. Complication supplémentaire, cette fracture numérique se décline de nombreuses manières, par exemple entre les pays développés et les pays en développement, entre les différents groupes socio-économiques à l'intérieur des pays, entre les propriétaires et les utilisateurs des technologies, ou encore entre ceux dont les emplois sont améliorés par l'IA et ceux dont les emplois sont susceptibles d'être remplacés.

Pour ne citer qu'un exemple, les disparités en matière d'accès aux réseaux de télécommunications affectent de nombreuses personnes dans les pays en développement ainsi que les personnes vivant en milieu rural dans les pays développés. En outre, bien que les prix du haut débit aient considérablement diminué ces dernières années, les services et les appareils numériques restent bien trop onéreux pour beaucoup, ce qui constitue un obstacle à l'adoption généralisée de l'IA. Et la faiblesse du haut débit peut conduire à un cercle vicieux : sans haut débit, l'accès aux technologies numériques est limité, et ceux qui en sont privés n'apparaissent pas dans les données dont dépend l'apprentissage automatique. Ainsi, les espoirs, les intérêts et les valeurs de ceux qui se trouvent du mauvais côté de la fracture numérique ne peuvent s'intégrer à l'ère de l'IA, et la nouvelle IA est involontairement biaisée à leur détriment.

La fracture numérique se trouve encore creusée par le fait qu'un petit nombre de superpuissances technologiques internationales, et dans quelques pays seulement, concentrent de manière croissante le pouvoir et les profits. Sans intervention politique efficace, le déploiement de l'IA dans l'éducation risque de refléter ce processus inexorable, amplifiant inévitablement les inégalités d'apprentissage existantes au lieu de les réduire.

Les possibilités de faire progresser par l'IA l'inclusion et l'équité dans l'éducation

En plus de nous concentrer sur l'accès équitable pour chacun aux technologies de l'IA, nous devons également prendre en compte le potentiel offert par l'IA pour aider à atteindre l'ODD 4, pour aider à « assurer une éducation inclusive et équitable de qualité et à promouvoir des possibilités

d'apprentissage tout au long de la vie pour tous ». D'ici 2030, ce sont 68,8 millions d'enseignants supplémentaires qui doivent être recrutés dans le monde pour assurer l'éducation universelle aux niveaux primaire et secondaire (UNESCO, 2016). Dans ce contexte difficile, de nombreuses technologies d'IA pourraient être utilisées, ou développées, pour contribuer à améliorer l'éducation – en particulier pour les personnes âgées, les réfugiés, les communautés marginalisées ou isolées, et les personnes ayant des besoins spéciaux en matière d'éducation⁶⁸. Cependant, nous devons

être conscients qu'un meilleur accès à l'éducation reste avant tout une question politique et sociale. Les technologies d'IA peuvent aider, mais il est peu probable qu'elles offrent une solution. Par exemple, mettre l'accent sur les technologies d'IA qui remplacent les fonctions des enseignants, plutôt que sur celles qui augmentent leurs capacités, pourrait contribuer à une solution à court terme pour les contextes où les enseignants sont rares, mais pourrait du même coup involontairement complexifier plutôt que résoudre les défis à long terme liés à la réalisation de l'ODD 4.

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

22. Réaffirmer que la recherche de l'inclusion et de l'équité dans et par l'éducation et la volonté d'offrir à tous des possibilités d'apprentissage tout au long de la vie sont des conditions fondamentales de la réalisation de l'ODD4 - Éducation 2030. Réaffirmer que toute percée technologique concernant l'utilisation de l'IA dans l'éducation est une occasion d'améliorer l'accès à l'éducation des groupes les plus vulnérables
23. Faire en sorte que l'IA garantisse à tous des possibilités d'éducation et d'apprentissage de grande qualité, quels que soient le genre, le handicap, le statut social ou économique, l'origine ethnique ou culturelle ou la situation géographique de chacun. Le développement et l'utilisation de l'IA dans l'éducation ne doivent pas aggraver la fracture numérique, ni être entachés de préjugés à l'encontre des minorités ou des groupes vulnérables.
24. Veiller à ce que les outils d'enseignement et d'apprentissage fondés sur l'IA assurent efficacement l'inclusion des élèves présentant des troubles d'apprentissage ou un handicap, ainsi que de ceux qui font leurs études dans une autre langue que leur langue maternelle.
33. Surveiller et évaluer les incidences de la fracture créée par l'IA et les disparités entre pays en matière de développement de l'IA sur la base des données soumises volontairement par ces pays, et garder à l'esprit les risques de clivage entre ceux qui ont accès à l'IA et ceux qui n'y ont pas accès. Réaffirmer qu'il importe de répondre à ces préoccupations, en accordant une priorité particulière à l'Afrique, aux pays les moins avancés (PMA), aux petits États insulaires en développement (PEID) et aux pays touchés par un conflit ou une catastrophe naturelle.
34. Coordonner des actions collectives afin de promouvoir l'utilisation équitable de l'IA dans l'éducation dans le cadre de l'architecture internationale et régionale de l'agenda Éducation 2030, notamment par le partage des technologies, programmes et ressources en matière d'IA axés sur le renforcement des capacités dans le plein respect des droits humains et de l'égalité des genres.
35. Soutenir les études prospectives sur les enjeux de demain liés à l'émergence de l'IA, et faciliter la recherche de stratégies et de pratiques efficaces visant à utiliser l'IA comme une source d'innovation dans l'éducation, de telle sorte que la communauté internationale ait une vision partagée des relations entre l'IA et l'éducation.
36. Axer la coopération internationale sur les besoins nationaux de développement et d'utilisation d'applications de l'IA dans l'éducation et de coopération intersectionnelle afin de renforcer la prise en main du développement des technologies de l'IA par les professionnels de ce secteur. Renforcer l'échange d'informations et le partage de pratiques prometteuses, ainsi que la coordination et la complémentarité des actions entreprises par les différents pays.

(UNESCO, 2019a, pp. 21, 23, 24)

Par conséquent, les décideurs politiques doivent veiller à ce que le haut potentiel que représente l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage soit vu avec un regard critique. Pour commencer, le cadre DOAM de l'UNESCO (« Droits de l'homme, Ouverture, Accessibilité et gouvernance Multipartite », ROAM en anglais) doit être appliqué, afin de s'assurer que la mise en œuvre de l'IA dans l'éducation aborde les droits de l'Homme dans leur dimension la plus large et les questions éthiques émergentes de manière holistique (UNESCO, 2019b). Pour prendre un exemple particulier, il est important que l'IA appliquée au champ éducatif soit rendue accessible à tous les citoyens (indépendamment du sexe, du handicap, du statut social ou économique, de l'origine ethnique ou culturelle, ou encore de la situation géographique), notamment pour les groupes vulnérables (tels que les réfugiés ou les étudiants ayant des difficultés d'apprentissage), sans creuser les inégalités existantes.

Il existe plusieurs exemples de l'IA utilisée pour faire progresser l'inclusion et l'équité dans l'éducation :

- La bibliothèque numérique mondiale ⁶⁹, qui utilise l'assistant vocal de Google pour permettre aux personnes ayant des difficultés d'alphabétisation de rechercher des livres en utilisant uniquement des commandes vocales, puis de se faire lire les livres à voix haute, ce qui leur ouvre l'accès à la connaissance ;
- Dydetective, outil de dépistage alimenté par l'IA et utilisant l'apprentissage automatique pour la détection précoce de la dyslexie. Développé par la société espagnole Change Dyslexia, il fournit également un environnement d'apprentissage basé sur le jeu pour pratiquer 24 compétences-clefs en matière de lecture et d'écriture⁷⁰ ;
- Des voix de synthèse alimentées par l'IA pour les personnes qui ne peuvent pas parler ou qui ont des difficultés

d'élocution⁷¹ parfois conçues pour correspondre à la voix originale de la personne ;

- La reconnaissance et la transcription automatiques de la parole alimentées par l'IA pour convertir des paroles brutes en texte fluide et comportant des signes de ponctuation, et rendre ainsi les cours en direct (live) plus accessibles aux étudiants sourds et malentendants⁷² ;
- Des applications d'IA et de réalité augmentée pour aider les enfants sourds à lire en traduisant les textes en langue des signes, comme StorySign⁷³, application mobile développée par Huawei ;
- Des robots « intelligents » dotés d'une IA, comme les robots à commande vocale pour les apprenants présentant des troubles du spectre de l'autisme⁷⁴, qui offrent des interactions

mécaniques prévisibles pour aider les apprenants à développer leurs interactions sociales et leurs compétences en matière de communication ;

- Des robots de téléprésence pour les élèves qui ne peuvent pas aller en classe (Heikkila, 2018) ;
- Des systèmes de tutorat intelligents (STI) alimentés par l'IA, les outils d'IA les plus courants dans le domaine éducatif, dont certains sont utilisés pour diagnostiquer des difficultés d'apprentissage spécifiques et personnaliser les parcours d'apprentissage (les STI sont abordés à la section 3.1, p. 18)

La complexité qui existe pour une utilisation inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation s'observe bien dans le Consensus de Beijing. Des principes directeurs et des stratégies sont recommandés pour orienter l'IA vers cette inclusion et cette équité.

3.4 Comment l'éducation peut-elle préparer les humains à vivre et à travailler avec l'IA ?

Comme indiqué précédemment, les ordinateurs sont meilleurs dans les tâches qui mettent en jeu des données, la découverte de modèles et des raisonnements statistiques, tandis que les humains continuent d'être plus performants dans les tâches qui nécessitent de l'empathie, de l'autodirection, du bon sens et des jugements de valeur.

En d'autres termes, pour aider les étudiants à apprendre à vivre au mieux dans un monde de plus en plus influencé par l'IA, il faut une pédagogie qui, plutôt que de se concentrer sur ce que les ordinateurs savent faire (par exemple, mémoriser et calculer), mette davantage l'accent sur les compétences humaines (la pensée critique, la communication, la collaboration ou la créativité) et sur la capacité à collaborer avec des outils d'IA omniprésents dans la vie, l'apprentissage et le travail.

On a aussi relevé que la Quatrième Révolution industrielle a un impact sur de nombreux aspects de la vie moderne, notamment sur le marché du travail.

Dans de nombreux pays, l'IA prend déjà en charge les travaux standardisés et répétitifs, révolutionnant ainsi la notion d'efficacité mais déplaçant de nombreux emplois. Pourtant, selon certains des plus grands cabinets de conseil internationaux⁷⁵, l'IA est également susceptible de créer de nombreuses opportunités d'emploi nouvelles et d'avoir une influence économique positive globale ; ces cabinets divergent cependant sur la question du nombre d'emplois qui seront supprimés et créés.

Quels que soient les résultats à long terme, la nature même de l'emploi est susceptible de changer (« la vie professionnelle est fragile et imprévisible », Barrett, 2017), ce qui a des répercussions sur des millions de travailleurs, de manière significative et souvent négative. Nombre d'entre eux devront se reconverter ; les carrières multiples au cours d'une vie sont bien en train de devenir la nouvelle normalité⁷⁶. Dans le même

temps, le fossé des compétences⁷⁷ entre ceux qui peuvent et ceux qui ne peuvent pas travailler avec les nouvelles technologies continuera de se creuser, de sorte qu'un nombre croissant de travailleurs seront exclus du marché du travail et que les classes moyennes se trouveront vidées de leur substance (Smith et Anderson, 2014). La combinaison entre risques et opportunités nécessite également d'effectuer un travail collectif pour déterminer comment les évolutions peuvent profiter à tous. Le récent rapport de l'OIT, « Travailler pour bâtir un avenir meilleur », par la Commission mondiale sur l'avenir du travail (OIT, 2019), indique :



D'innombrables possibilités s'offrent à nous pour améliorer la qualité de la vie professionnelle, élargir les choix, combler l'écart entre les genres, réparer les effets dévastateurs des inégalités dans le monde [...]. Or rien de tout cela ne se produira tout seul. Sans une action décisive, nous nous dirigerons vers un monde où les inégalités et les incertitudes iront croissant.

Si on veut s'assurer à l'échelle internationale que l'IA ne creuse pas les inégalités existantes, il devient de plus en plus important que chaque citoyen ait la possibilité d'acquiescer et de développer une solide compréhension de l'IA – ce qu'elle est, comment elle fonctionne et comment elle est susceptible d'influencer sa vie. C'est ce qu'on appelle parfois « la culture de l'IA ». Dans cette perspective, les enseignants sont appelés à jouer un rôle crucial ; l'offre éducative devra s'orienter vers un soutien à l'apprentissage tout au long de la vie, afin que les individus puissent augmenter leur autonomie, leur employabilité et leur capacité à apporter leur contribution à la société. En d'autres termes, les approches de l'éducation et de la formation dans le monde entier devront adopter une réponse systémique pour aider à préparer tous les citoyens à vivre et à travailler harmonieusement à l'ère de l'IA.

L'intégration des valeurs et des compétences humaines nécessaires requiert un cadre à l'échelle du système, voire de la société, comportant plusieurs dimensions complémentaires :

- (i) faciliter l'apprentissage tout au long de la vie, afin que chacun (notamment les personnes âgées) acquière une solide compréhension de l'IA⁷⁸ (en particulier, comment les données sont sélectionnées, manipulées par les algorithmes de l'IA et interprétées, et comment cela peut être biaisé) et de ses implications pour les individus et la société en général ;
- (ii) intégrer l'apprentissage fondamental de l'IA dans les programmes scolaires de la maternelle au secondaire⁷⁹ notamment la pensée computationnelle, des connaissances sur les données et les algorithmes, les statistiques, apprendre à coder, afin de permettre aux jeunes de créer leurs propres outils d'IA), ce qui sera examiné plus en détail par la suite ;
- (iii) former la prochaine génération de professionnels de l'IA afin de combler le déficit croissant de compétences et de pourvoir les emplois liés à l'IA créés dans le monde entier ;
- (iv) encourager les établissements d'enseignement supérieur et les instituts de recherche à développer une IA équitable et novatrice ;
- (v) veiller à ce que la main-d'œuvre croissante de l'IA soit diversifiée et inclusive (incluant les femmes et d'autres groupes qui sont souvent exclus) ;
- (vi) anticiper les besoins émergents des employés et des employeurs et offrir des possibilités de perfectionnement ou de requalification sur le lieu de travail (à mesure que l'IA automatise les fonctions peu ou moyennement qualifiées).

Il existe plusieurs exemples prometteurs de programmes visant à préparer les humains à vivre et à travailler avec l'IA, notamment ceux qui aident de très jeunes apprenants à acquérir des compétences en IA. Dans le même temps, diverses plateformes et outils d'IA sont également produits pour favoriser ces compétences :

- En Chine, le ministère de l'Éducation a inclus « les algorithmes et la pensée computationnelle » dans les programmes d'enseignement des TIC au lycée (ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2017), tandis que le « plan d'action innovant pour l'intelligence artificielle dans les établissements d'enseignement supérieur » (ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2018) vise à améliorer les capacités d'IA des universités chinoises. En outre, le ministère a publié un programme pilote intitulé « L'IA stimule le développement de l'équipe des enseignants » qui vise à renforcer l'innovation dans la formation des enseignants.
- Aux États-Unis, le district scolaire de Montour, en Pennsylvanie, enseigne aux enfants à coder, leur donnant ainsi l'occasion d'expérimenter comment envisager l'IA en faveur du bien public⁸⁰.
- À Singapour, des robots humanoïdes (tels que Nao⁵⁷ and Pepper⁵⁸) sont utilisés dans les classes de maternelle pour initier les enfants à la programmation et à d'autres matières STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques) (Graham, 2018).

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

- 6. Nous reconnaissons aussi les caractéristiques propres de l'intelligence humaine. Ayant à l'esprit les principes énoncés dans la Déclaration universelle des droits de l'Homme, nous réaffirmons l'approche humaniste de l'UNESCO à l'égard de l'utilisation de l'IA, qui vise à protéger les droits de l'Homme et à préparer tous les individus aux valeurs et aux compétences indispensables à une collaboration efficace entre l'être humain et la machine, dans la vie, dans l'apprentissage et au travail, ainsi qu'au développement durable.
- 17. Être attentifs à la transformation systémique et à long terme du marché du travail qui résulte de l'adoption de l'IA, y compris la dynamique concernant l'égalité des genres. Mettre au point ou actualiser des mécanismes et des outils permettant d'anticiper et d'identifier les besoins de compétences présents et futurs liés au développement de l'IA, afin d'assurer la pertinence des programmes scolaires dans les économies, des marchés du travail et des sociétés en mutation. Intégrer les compétences relatives à l'IA dans les programmes et les qualifications

de l'enseignement et de la formation techniques et professionnels (EFTP) et de l'enseignement supérieur, en tenant compte des aspects techniques et des disciplines interdépendantes des sciences humaines.

- 18. Avoir conscience de l'émergence d'un ensemble de compétences liées à la maîtrise de l'IA qui sont indispensables à une collaboration efficace entre l'être humain et la machine, sans perdre de vue la nécessité de compétences fondamentales telles que la maîtrise de la lecture, de l'écriture et du calcul. Prendre des mesures au niveau institutionnel pour améliorer l'initiation à l'IA à tous les niveaux de la société.
- 19. Établir des plans à moyen ou long terme et prendre d'urgence des mesures pour aider les établissements d'enseignement supérieur et de recherche à mettre en place des cours et des programmes de recherche ou améliorer ceux qui existent déjà afin de cultiver les talents locaux en matière d'IA et créer ainsi un vivier important de professionnels locaux de l'IA possédant les compétences requises pour concevoir, programmer et développer des systèmes d'IA.

(UNESCO, 2019a, pp. 16, 19, 20)

■ Au Royaume-Uni et au Kenya, l’initiative *Teens In AI* initiative⁸¹ vise à inspirer la prochaine génération de chercheurs, d’entrepreneurs et de dirigeants dans le domaine de l’IA. Elle permet aux jeunes de découvrir le déploiement d’une IA socialement responsable, grâce à une combinaison de hackathons, d’accélérateurs, de bootcamps et de mentorat.

■ À Singapour, l’initiative *SkillsFuture*⁸² est axée sur l’approfondissement et la reconversion en relation avec les compétences numériques. Elle développe notamment les compétences des scientifiques et des ingénieurs en IA et offre une compréhension fondamentale de l’IA, y compris la manière de bien vivre dans le monde de l’IA.

■ En Finlande, l’application d’IA *Headai* a été développée en association avec l’Université métropolitaine des Sciences appliquées d’Helsinki. Elle surveille et analyse les offres d’emploi et les programmes d’études de l’université pour créer des cartes de compétences⁸³ qui comparent l’offre et la demande de compétences en IA, ce qui permet à l’université d’adapter rapidement ses cours aux besoins du marché.

■ L’initiative américaine *AI4K12*⁸⁴, parrainée conjointement par l’*Association for the Advancement of Artificial Intelligence* (AAAI) et la *Computer Science Teachers Association* (CSTA), fournit un ensemble de ressources destinées à aider les enseignants à initier leurs élèves à l’IA.

■ Le portail *Teaching AI for K12*⁸⁵ de l’UNESCO rassemble des ressources d’enseignement de l’IA provenant du monde entier, à destination des enseignants, y compris pour l’enseignement à domicile, qui peuvent les utiliser pour aider leurs élèves à se familiariser avec l’IA.

■ Des cours gratuits en ligne ont été conçus pour familiariser les citoyens avec le fonctionnement de l’IA.

On peut notamment citer :

– *Elements of AI*⁸⁶ est une série de cours en ligne gratuits créés par Reaktor et l’Université d’Helsinki. Ces cours sont disponibles en plusieurs langues et visent à encourager quiconque à apprendre ce qu’est l’IA, ce qu’elle peut et ne peut pas faire, et comment commencer à créer des méthodes d’IA.

– *OKAI*⁸⁷ est une série de cours en ligne disponibles en anglais et en chinois. Le projet vise à démystifier l’IA et à présenter ses concepts à un public possédant peu ou pas de connaissances en informatique. Il utilise des animations et des graphiques basés sur le Web pour illustrer les principes de fonctionnement de l’IA.

– *AI-4-AI*⁸⁸ est un programme à but non lucratif basé aux États-Unis qui vise à accroître la diversité et l’inclusion dans l’éducation, la recherche, le développement et les politiques de l’IA, dans le but de mettre en place un meilleur accès pour les personnes sous-représentées dans le domaine de l’IA.

4. Les défis de la maîtrise de l'IA pour atteindre l'ODD 4

Malgré le potentiel de l'IA dans le champ éducatif, il existe de nombreux défis spécifiques liés à la maîtrise de l'IA pour atteindre l'ODD 4. Il existe également des obstacles plus importants que la société doit surmonter pour libérer le potentiel de l'IA, atténuer ses inconvénients et bâtir des systèmes éducatifs à l'épreuve du futur. L'influence de l'IA sur les étudiants, les enseignants et la société en général reste tout d'abord à déterminer. Il s'agit de se poser des questions relatives notamment à l'efficacité des interventions de l'IA, au choix des pédagogies utilisées dans les outils d'IA, à la vie privée des étudiants, aux emplois des enseignants et à ce qu'il convient d'enseigner dans les écoles et les universités.

Dans ce chapitre, nous explorons brièvement certaines des questions cruciales auxquelles une réponse doit être apportée.

4.1 Éthique des données et biais algorithmiques

Les données, on l'a dit, se trouvent au cœur des approches contemporaines de l'IA, ce qui soulève de nombreuses questions délicates centrées sur la protection, la confidentialité et la propriété de ces données, ainsi que sur leur analyse. Ces questions éthiques font l'objet d'une grande attention (résumée par Jobin et al., 2019). De même, l'éthique relative aux données éducatives constitue également le sujet de nombreuses recherches (par exemple Ferguson et al., 2016), soulevant d'autres questions centrées sur le consentement éclairé, la gestion des données et les perspectives (par exemple, institutionnelles vs. individuelles) sur les données. Toute application de l'IA dans un contexte éducatif devrait aborder de manière adaptée toutes ces questions relatives aux données, ainsi que d'autres questions spécifiques à l'éducation, telles que le choix de la pédagogie.

En outre, il est admis depuis longtemps que, de par sa conception, l'IA amplifie les caractéristiques cachées de ses

données initiales et renforce efficacement ses hypothèses sous-jacentes. En particulier,

” si les algorithmes sont entraînés à partir de données qui contiennent des biais humains, il est évident que les algorithmes les apprendront, mais de plus, ils sont susceptibles de les amplifier. C'est un problème majeur, surtout si les individus supposent que les algorithmes sont impartiaux. (Douglas, 2017)

En bref, l'IA n'est pas biaisée en soi. En revanche, si ses données sont biaisées ou analysées à l'aide d'algorithmes inadéquats, les biais originaux et peut-être non identifiés peuvent devenir plus visibles et avoir une influence plus grande. Rendre perceptibles les biais est probablement utile, car cela peut conduire à effectuer des corrections, mais permettre aux biais d'avoir un impact plus important peut conduire à des résultats préjudiciables : il faut donc être très attentif dans la gestion de ce risque.

4.2 L'IA équitable entre les genres et pour l'égalité des sexes

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

25. Souligner que l'écart entre les genres dans la maîtrise des compétences numériques contribue à la faible proportion de femmes parmi les professionnels de l'IA et aggrave les inégalités existantes entre les genres.
26. Affirmer notre engagement en faveur du développement d'applications de l'IA dans l'éducation qui soient exemptes de préjugés sexistes, et veiller à ce que les données utilisées pour développer l'IA soient attentives au genre. Les applications de l'IA devraient favoriser la promotion de l'égalité des genres.
27. Promouvoir l'égalité des genres dans l'élaboration d'outils d'IA, autonomiser les filles et les femmes en renforçant leurs compétences en matière d'IA afin d'assurer l'égalité entre les genres au sein du personnel et des employeurs du secteur de l'IA.

(UNESCO, 2019a, p. 8)

Si l'on veut que l'IA soit véritablement utile à la société, il faut tout mettre en œuvre pour que l'équité et l'égalité entre les genres figurent parmi ses principes fondamentaux. Or, il a été démontré que diverses utilisations de l'IA présentent des préjugés. La cause première était le fait que les données d'origine, basées sur l'historique du recrutement de l'entreprise, avaient toujours été, sans qu'on le sache, biaisées au détriment des femmes. L'IA, en automatisant la sélection, a inévitablement amplifiés et rendu évidents ces préjugés originels. Certains ont suggéré qu'Amazon n'aurait pas dû renoncer à l'utilisation de l'IA dans le recrutement, mais que la compagnie aurait plutôt dû s'efforcer de corriger ces biais. Un autre exemple concerne le développement d'assistants personnels d'IA, tels que Siri d'Apple²⁰, Alexa Amazon²¹, et DuerOS de Baidu²² :

” Avec les noms féminins, les voix et le contexte de flirt programmé, la conception des assistants personnels virtuels reproduit les stéréotypes discriminatoires de la secrétaire qui, selon le stéréotype de genre, est souvent plus qu’une simple secrétaire pour son patron masculin. Elle renforce également le rôle des femmes comme étant secondaires et soumises aux hommes. Ces assistants IA fonctionnent sur commande de leur utilisateur. Ils n’ont pas le droit de refuser ses ordres. Ils sont programmés uniquement pour obéir. On peut avancer qu’ils suscitent également des attentes quant à la façon dont les femmes devraient se comporter dans la vraie vie. (Adams, 2019)

L’influence de l’utilisation de ces technologies porteuses de stéréotypes de genre dans les salles de classe reste une question ouverte.

4.3 Suivi, évaluation et recherche sur l’utilisation de l’IA dans l’éducation

Bien que les applications de l’IA dans le champ éducatif fassent l’objet de recherches depuis plus de 50 ans, force est de constater que cette recherche reste encore relativement peu répandue dans les écoles et les universités – y compris dans les pays développés. Pour tout dire, on ne sait même pas encore si les technologies à l’œuvre dans l’éducation sont réellement à la hauteur de la situation.

” Une grande partie des « preuves tangibles » qui existent aujourd’hui portent principalement sur la façon dont l’IA peut fonctionner dans le champ éducatif au point de vue technique, sans qu’on s’accorde le temps de prendre du recul et de répondre de manière claire à la question de savoir si l’IA est vraiment nécessaire dans l’éducation. (Nemorin, 2021)

Il existe peu d’exemples de recherches cumulatives ou reproductibles sur l’application de l’IA dans le champ éducatif, et peu de preuves intangibles disponibles quant à son efficacité à grande échelle, bien que certains STI se soient révélés globalement efficaces lorsqu’ils sont comparés à l’enseignement traditionnel en classe (du Boulay, 2016). En fait, l’efficacité présumée de nombreux outils d’IA pourrait être due davantage à leur nouveauté qu’à leur contenu. Nous ne disposons tout simplement pas de preuves suffisantes pour conclure (Holmes et al., 2018a).

S’il ne fait guère de doute que l’IA aura une influence majeure sur l’offre et la gestion des opportunités, du contenu et des résultats de l’éducation, nous avons toujours des questions sur la manière dont les solutions d’IA peuvent améliorer ces résultats, et nous ne savons pas exactement si elles peuvent aider les scientifiques à mieux comprendre comment l’apprentissage se produit.

En particulier, nombreux sont ceux qui ont suggéré que l’IA a un rôle majeur à jouer dans la résolution des problèmes éducatifs causés par les fermetures des établissements scolaires en raison de la COVID-19, par exemple l’accroissement des inégalités. Au cours des premiers mois de la pandémie, de nombreuses entreprises commerciales spécialisées dans

S’attaquer à ces questions d’équité entre les sexes est un objectif crucial qui ne pourra être atteint que si les femmes sont dûment représentées dans les emplois de l’IA, sujet en soi très préoccupant. Une analyse récente de LinkedIn a révélé que seuls 22 % des professionnels de l’IA dans le monde sont des femmes (Forum économique mondial, 2018). Faire progresser la représentation des femmes dans l’IA est essentiel pour les droits fondamentaux des personnes et pour aider à prévenir la prolifération et l’amplification des préjugés induits par l’IA.

l’IA pour l’éducation ont signalé une forte augmentation du nombre d’utilisateurs enregistrés. Toutefois, rien ne prouve que ces systèmes aient été utilisés à d’autres fins que la garde virtuelle des enfants, ou que les jeunes aient tiré profit de leur utilisation. Par conséquent, avant que les décideurs ne considèrent que l’IA peut résoudre les problèmes éducatifs causés par la pandémie, bien des recherches et évaluations supplémentaires sont nécessaires pour distinguer la réalité concrète des exagérations. En fin de compte, l’IA sera probablement en mesure de jouer un rôle efficace, mais à l’heure actuelle, nous ne disposons tout bonnement de pas assez d’informations pour savoir dans quelle mesure elle sera utile.

Consensus de Beijing sur l’intelligence artificielle et l’éducation

15. Encourager dans les écoles des essais pilotes sur l’utilisation de l’IA afin de faciliter l’innovation dans l’enseignement et l’apprentissage, en tirant les leçons des succès et en reproduisant à plus grande échelle les pratiques qui ont fait leurs preuves.
31. Garder à l’esprit l’absence d’études systématiques sur les effets des applications de l’IA dans l’éducation. Soutenir la recherche, l’innovation et les analyses relatives à l’impact de l’IA sur les pratiques et les résultats de l’apprentissage, ainsi que sur l’émergence et la validation de nouvelles formes d’apprentissage. Adopter une approche interdisciplinaire de la recherche sur l’utilisation de l’IA dans l’éducation. Encourager les recherches comparatives transnationales et la collaboration entre pays.
32. Envisager la mise en place de mécanismes de suivi et d’évaluation permettant de mesurer l’impact de l’IA sur l’éducation, l’enseignement et l’apprentissage afin de produire des données factuelles qui constitueront une base valide et solide pour l’élaboration de politiques.

(UNESCO, 2019a, pp. 19 & 23)

4.4 Quel impact l'IA aura-t-elle sur le rôle des enseignants ?

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

12. Garder à l'esprit que, si l'IA offre des possibilités de soutenir les enseignants dans l'exercice de leurs responsabilités éducatives et pédagogiques, l'éducation doit continuer de reposer essentiellement sur l'interaction et la collaboration humaines entre les enseignants et les apprenants, être conscients que les enseignants ne peuvent être remplacés par des machines, et veiller à protéger leurs droits et leurs conditions de travail.
13. Examiner et définir de manière dynamique, dans le contexte des politiques relatives aux enseignants, les rôles joués par ces derniers et les derniers et les compétences qui sont exigées d'eux, renforcer les centres de formation des enseignants et élaborer des programmes de développement des capacités appropriés, qui préparent le personnel enseignant à travailler efficacement dans des contextes éducatifs riches en ressources d'IA.

(UNESCO, 2019a, p. 18)

Malgré les objectifs commerciaux qui visent à utiliser des systèmes tutoriels intelligents pour accomplir les tâches des enseignants, il est encore peu probable que les enseignants soient remplacés par des machines dans un avenir proche. Néanmoins, l'ambition de nombreux développeurs d'IA est bien

de soulager les enseignants de diverses charges (comme le suivi des progrès ou la correction des devoirs), afin qu'ils puissent se concentrer sur les aspects humains de l'enseignement (comme l'engagement social, l'interaction en empathie avec les élèves et l'orientation personnelle). Et à mesure que les fonctionnalités de l'IA s'améliorent, elles soulagent forcément les enseignants d'un nombre croissant de charges. En conséquence, à mesure que les outils d'IA prendront en charge les tâches de transmission des connaissances, en facilitant la réflexion de base des élèves, les enseignants joueront un rôle réduit. En théorie, cela devrait permettre aux enseignants de se concentrer davantage sur la conception et la facilitation d'activités d'apprentissage qui nécessitent une réflexion de haut niveau, de la créativité, une collaboration interpersonnelle et des valeurs sociales – bien que, sans aucun doute, les développeurs d'IA travaillent déjà à automatiser également ces tâches. Par conséquent, pour s'assurer que les enseignants continuent à jouer leur rôle, essentiel, dans l'éducation des jeunes, les décideurs doivent examiner au point de vue stratégique la façon dont l'IA serait susceptible de transformer le rôle des enseignants, et comment ces derniers pourraient se préparer à travailler dans des environnements éducatifs riches en IA.

4.5 Quel impact l'IA aura-t-elle sur l'autonomie et l'organisation des apprenants ?

Même si l'on met de côté le scénario dystopique du remplacement des enseignants par l'IA, l'utilisation accrue de l'IA adaptative dans l'éducation pourrait nuire à l'autonomie et l'organisation des apprenants. Cela signifie que ceux-ci auront moins de temps pour interagir entre eux, que les machines prendront davantage de décisions et que l'accent sera porté sur les types de connaissances les plus faciles à automatiser. Cela pourrait priver les apprenants d'occasions de cultiver leur inventivité, leur efficacité personnelle, leur autorégulation, leur métacognition, leur esprit critique, leur pensée indépendante et d'autres compétences du XXI^e siècle qui sont essentielles au développement de la personne dans son ensemble (Forum économique mondial et Boston Consulting Group, 2016). On ignore actuellement quels effets à long terme cela aura sur la construction des élèves, des citoyens et de l'enseignement.

Il se trouve que *Summit Learning*, STI développé par des ingénieurs de Facebook et utilisé dans quelque 400 écoles, a fait l'objet de protestations et de boycotts de la part des élèves. Dans certains cas, les élèves ont quitté l'établissement en signe de protestation, affirmant qu'ils n'avaient pas eu une bonne expérience avec ce programme, qui exigeait de passer des heures en classe assis devant un ordinateur. Ils étaient particulièrement préoccupés par le fait que le programme éliminait une grande partie de l'interaction humaine et du

soutien des enseignants, nécessaires au développement de la pensée critique (Robinson et Hernandez, 2018). L'initiative Chan Zuckerberg, qui a financé le projet *Summit Learning*, conteste ces affirmations.

En outre, comme nous l'avons déjà noté, l'IA amplifie les caractéristiques cachées de ses données initiales et renforce avec efficacité ses hypothèses sous-jacentes. À cet égard, les technologies d'IA basées sur les règles et l'apprentissage automatique sont similaires (Holmes et al., 2019). Leur conception même, leur mise en œuvre de pédagogies qui se concentrent sur le transfert de connaissances et la fourniture de contenu tout en ignorant les facteurs contextuels et sociaux, amplifient les hypothèses existantes mais contestées sur les approches de l'enseignement et de l'apprentissage. Il s'agit là d'un ensemble de questions cruciales auxquelles la communauté de l'IA dans l'éducation doit s'intéresser de près et s'impliquer. Toutes les applications de l'IA dans l'éducation devraient améliorer, et non menacer, ce que signifie être pleinement humain.

5. Examen des réponses politiques

L'OCDE a relevé⁸⁹, qu'il existe plus de 300 initiatives politiques en matière d'IA émanant de 60 pays du monde entier et de l'UE. La plupart de ces initiatives sont en lien avec l'éducation.

Par exemple, beaucoup font référence à la nécessité de renforcer les capacités en matière d'IA (« l'apprentissage relatif à l'IA »), mais surtout dans l'enseignement supérieur. Certaines mentionnent également la reconversion professionnelle qui devient de plus en plus nécessaire pour atténuer l'impact de l'IA sur les travailleurs.

Cependant, malgré l'ODD4, peu d'initiatives se concentrent sur l'apprentissage de l'IA dans les niveaux allant de la maternelle

au secondaire, sur la manière dont l'IA est mise en œuvre dans l'éducation (« apprendre avec l'IA ») ou sur la préparation des citoyens à vivre dans un monde de plus en plus influencé par l'IA (« apprendre en vue de la collaboration homme-IA »).

Dans ce chapitre, nous résumons quelques politiques nationales et régionales qui traitent spécifiquement de l'IA et de l'éducation, afin d'éclairer le travail des décideurs dans des pays qui mettent en place et développent des stratégies en s'appuyant sur les initiatives génériques existantes en matière d'IA.

5.1 Approches des réponses politiques

Les politiques transnationales et régionales relatives à l'évolution de l'IA et de l'éducation sont diverses, mais elles peuvent relever dans les grandes lignes de l'une des trois catégories suivantes : indépendante, intégrée ou thématique (voir tableau 3).

■ L'approche indépendante

Elle dispose de politiques et de stratégies autonomes en matière d'IA – voir l'étude de l'UE intitulée « L'impact de l'intelligence artificielle sur l'apprentissage, l'enseignement et l'éducation » (Tuomi, 2018) ou le « Plan de développement de l'intelligence artificielle de nouvelle génération » de la Chine (2017).

■ L'approche intégrée

Integrating the elements of AI into existing Education or ICT policies and strategies, such as Argentina's 'Aprender Conectados' (Ministry of Education, Argentina, 2017).

■ L'approche thématique

Elle se concentre sur un sujet spécifique relatif à l'IA et à l'éducation, tel que le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) de l'UE.

Chacune de ces trois approches est ici examinée plus en détail.

L'approche indépendante

■ En 2016, les États-Unis ont lancé le « Plan stratégique national de recherche et de développement de l'intelligence artificielle ». En ce qui concerne l'IA dans le champ éducatif, le plan met l'accent sur l'amélioration des possibilités d'éducation et de la qualité de vie. Plus précisément, il affirme que (i) le tutorat automatisé adaptatif peut devenir disponible à l'échelle universelle, grâce aux technologies d'apprentissage améliorées par l'IA ; (ii) les tuteurs d'IA peuvent agir en complément des enseignants humains, en aidant à fournir un apprentissage et des mesures de remédiation appropriés

à chaque individu ; (iii) les outils d'IA peuvent favoriser l'apprentissage tout au long de la vie et l'acquisition de nouvelles compétences pour tous les membres de la société.

■ En 2016, la République de Corée a lancé le « Plan à moyen et long terme de préparation à la société de l'information intelligente ». Ce plan prévoit la formation de 5 000 nouveaux diplômés en IA chaque année, à partir de 2020, afin d'enrichir son vivier de talents de 50 000 nouveaux spécialistes de l'IA d'ici 2030.

■ En 2017, la Chine a lancé le « Plan de développement de l'intelligence artificielle de nouvelle génération ». Ce plan plaide en faveur de ce qu'il nomme « l'éducation intelligente ». Plus précisément, il prévoit d'utiliser l'IA pour (i) développer un nouveau système d'éducation qui implique une réforme des pratiques éducatives et offre un apprentissage intelligent et interactif ; (ii) construire des campus intelligents et promouvoir l'IA dans l'enseignement, la gestion et l'élaboration des ressources ; (iii) développer une méthodologie d'enseignement globale tridimensionnelle et une plateforme d'apprentissage en ligne intelligente basée sur le *big data* ; (iv) développer des assistants IA et établir un système d'analyse éducatif global ; (v) établir un environnement éducatif centré sur l'apprenant, et parvenir à un enseignement personnalisé pour chaque apprenant.

■ En 2017, les Émirats arabes unis (EAU) ont lancé la « Stratégie des EAU pour l'intelligence artificielle ». Ce plan concerne le développement et l'application de l'IA dans neuf secteurs principaux, dont l'éducation. Il met l'accent sur le potentiel de l'IA pour réduire les coûts et améliorer l'apprentissage.

■ En 2018, l'UE a publié « L'impact de l'intelligence artificielle sur l'apprentissage, l'enseignement et l'éducation ». Ce document traite tout d'abord de l'impact de l'IA sur l'apprentissage, en particulier sur les capacités cognitives

TABLEAU 3 : APERÇU DES DIRECTIVES POLITIQUES ASSOCIÉES À L'AI DANS LE CHAMP ÉDUCATIF

	APPROCHES		
	Indépendante	Intégrée	Thématique
Argentine		Aprender Conectados (ministère de l'Éducation, Argentine, 2017)	
Chine	Plan d'intelligence artificielle de nouvelle génération (gouvernement de la République populaire de Chine, 2017).		Nouvelles normes du programme d'enseignement des TIC pour l'école secondaire supérieure (ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2017) Plan d'action innovant pour l'intelligence artificielle dans les établissements d'enseignement supérieur (ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2018).
Estonie			Programme ProgeTiger (HITSA, 2017)
Union européenne	L'impact de l'intelligence artificielle sur l'apprentissage, l'enseignement et l'éducation (Tuomi, 2018).		RGPD (Union européenne, 2016, 2018) DigComp – Cadre européen des compétences numériques (Carretero et al., 2017)
Malaisie		#mydigitalmaker (ministère de l'Éducation et Malaysia Digital Economy Corporation, 2017)	
Malte	Vers une stratégie de l'IA. Document d'orientation pour consultation publique (gouvernement de Malte, 2019)		
République de Corée	Plan à moyen et long termes en préparation de la société de l'information intelligente (gouvernement de la République de Corée, 2016).		
Singapour			Mouvement Code@SG – Développement de la pensée computationnelle en tant que capacité nationale (Infocomm Media Development Authority, 2017)
Émirats arabes unis	Stratégie des Émirats arabes unis pour l'intelligence artificielle (Émirats arabes unis, 2017)		
États-Unis	Plan stratégique national de recherche et développement en intelligence artificielle (Conseil national des sciences et des technologies, 2016).		

humaines des enfants et des adultes ; il montre que l'IA peut soutenir les capacités cognitives existantes, accélérer le développement cognitif et créer de nouvelles compétences, et qu'elle pourrait réduire l'importance de certaines capacités ou les rendre obsolètes. Il aborde ensuite la nécessité d'une vision prospective de l'IA, ainsi que l'impact de l'IA sur l'avenir de l'apprentissage, en particulier sur les modèles d'étudiants façonnés par l'IA et les nouvelles opportunités pédagogiques. Le document souligne en outre que l'IA est susceptible d'exercer une influence profonde à un niveau systémique ; il reconnaît qu'elle ne représente qu'un aspect des transformations plus larges actuellement en cours et connues sous le nom de Quatrième Révolution industrielle. Pour faire face à un tel contexte, les auteurs affirment qu'il est essentiel de repenser le rôle de l'éducation dans la société, la manière dont elle pourrait être organisée et les objectifs et besoins auxquels elle doit répondre.

■ En 2019, Malte a lancé le projet « Vers une stratégie en matière d'IA ». Cette stratégie s'appuie sur trois piliers : (i) l'investissement, les start-ups et l'innovation ; (ii) la prise en compte dans le secteur public ; (iii) la mise en place

dans le secteur privé, l'éducation constituant un catalyseur d'envergure. Elle indique que le système éducatif du pays doit

” **Évoluer et s'adapter aux exigences de la Quatrième Révolution industrielle. Aujourd'hui, avant même de savoir parler, un pourcentage élevé de jeunes enfants apprennent à interagir de manière experte avec des appareils électroniques et à naviguer dans des systèmes d'exploitation mobiles. Ils grandissent en considérant que la technologie fait partie intégrante de leur vie.**

De fait, ils ne cultivent guère de ce qu'on pourrait qualifier d'attachement sentimental à l'idée de se « déconnecter », n'ayant jamais connu un monde sans contenu personnalisé diffusé en continu sur un appareil mobile toujours connecté. Les outils numériques sont donc courants dans la plupart des écoles maltaises, les enseignants enrichissant l'expérience éducative au moyen de tableaux blancs interactifs et de tablettes. Cependant... Malte doit [également] réfléchir à la manière d'élargir le programme scolaire en soi et de mieux préparer les enfants à un lieu de travail futur où la prise de décision est assistée, soutenue et améliorée par l'application de l'IA. (Gouvernement de Malte, 2019)

L'approche intégrée

■ En 2016, la Malaisie a lancé le mouvement #mydigitalmaker, qui intègre la pensée computationnelle dans son programme éducatif. Il propose des collaborations entre le secteur privé, le secteur public et le monde universitaire, pour « aider à créer et encourager le développement de programmes d'éducation numérique qui sont mis en correspondance avec les objectifs fixés par le ministère de l'éducation » (ministère de l'Éducation & Malaysia Digital Economy Corporation, 2017) (Pedro et al., 2019).

■ En 2017, l'Argentine a lancé « *Aprender Conectados* » (« Apprendre connectés »), qui vise à intégrer l'apprentissage numérique à tous les niveaux de l'enseignement obligatoire. Elle a proposé que toutes les écoles intègrent la programmation et la robotique d'ici 2019. Le programme fixe des compétences d'apprentissage spécifiques, adaptées à l'âge des élèves, à chaque niveau, de l'école maternelle à l'école secondaire, pour aboutir à une compétence approfondie dans l'utilisation des méthodes et techniques informatiques, individuellement et en collaboration, pour résoudre des problèmes.

L'approche thématique

■ En 2016, le Parlement européen a approuvé le « Règlement Général sur la Protection des Données » (RGPD), qui est entré en vigueur en 2018. Il est conçu pour (i) harmoniser les lois sur la confidentialité des données à travers l'Europe ; (ii) protéger la confidentialité des données de tous les citoyens de l'UE ; (iii) remodeler la façon dont les organisations de toute l'Europe abordent la confidentialité des données.

■ En 2017, l'UE a lancé le « Cadre européen des compétences numériques » (« *DigComp* » en anglais) (Carretero et al., 2017), dans lequel la compétence numérique doit comprendre : (i) la maîtrise de l'information et des données ; (ii) la communication et la collaboration ; (iii) la création de contenu numérique ; (iv) la sécurité ; (v) la résolution de problèmes.

■ En 2017, la Chine a lancé les « Nouvelles normes de programme d'enseignement des TIC pour le lycée » (ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2017). Ce document veut promouvoir, pour les élèves (i) la conscience de l'information ; (ii) la pensée computationnelle ;

(iii) l'apprentissage et l'innovation numériques ; (iv) les responsabilités dans une société de l'information.

Selon les « Nouvelles normes en matière de TIC pour le lycée », le programme d'enseignement des TIC comprend le cours obligatoire de TIC, le cours optionnel de TIC I et le cours optionnel de TIC II. Le cours obligatoire de TIC comprend deux modules : (i) données et calcul ; (ii) système d'information et société. Le cours optionnel de TIC comprend un module de base et un module d'application.

Le module de base comprend (i) les données et les structures des données ; (ii) les bases des réseaux ; (iii) la gestion et l'analyse des données. Le module d'application comprend (i) la conception d'API (*Application Programming Interface* ou *Application Program Interface*) ; (ii) la conception et la créativité 3D ; (iii) la conception d'un projet matériel libre (*hardware*). Le cours optionnel de TIC II comprend quant à lui les bases des algorithmes et l'introduction aux systèmes intelligents.

■ En 2018, la Chine a lancé le « Plan d'action innovant pour l'intelligence artificielle dans les établissements d'enseignement supérieur » (Ministère de l'Éducation, République populaire de Chine, 2018), pour le développement de l'IA dans les universités. Il vise à (i) optimiser le système d'innovation dans le domaine de l'IA dans l'enseignement supérieur ; (ii) améliorer le système de formation des talents en matière d'IA ; (iii) renforcer la mise en œuvre des réalisations scientifiques et technologiques académiques dans le domaine de l'IA.

■ En 2017, Singapour a lancé « Le Mouvement Code@SG – Développement de la pensée computationnelle en tant que capacité nationale » (*Infocomm Media Development Authority*, 2017), qui souligne l'importance de promouvoir l'action de coder et la pensée informatique chez les élèves dès leur plus jeune âge, car ces éléments deviennent une partie de plus en plus essentielle de la vie et de la carrière des gens.

■ En 2012, l'Estonie a lancé le programme « *ProgeTiger* », géré par la fondation des Technologies de l'information pour l'éducation (Hariduse Infotehnoloogia Sihtasutuse, HITSA) et financé par le ministère estonien de l'Éducation et de la Recherche. Il propose d'introduire la programmation et la robotique dans les programmes nationaux de l'enseignement préscolaire, primaire et professionnel.

5.2 Préoccupations communes

Les politiques nationales et régionales décrites ci-dessus font apparaître quatre grands domaines de préoccupation :

- l'importance de la gouvernance pour les données et la vie privée (comme le prévoit, par exemple, le RGPD de l'UE) ;
- importance des données ouvertes (principe de l'*openness*) comme valeur fondamentale, en ce qui concerne tant les technologies de l'IA que les données, afin de garantir un accès

universel égal et des possibilités de combler les inégalités en matière d'information et de promouvoir la transparence (UNESCO, 2019b) ;

- l'innovation en matière de programmes d'études pour répondre au potentiel et aux implications de l'IA, comme le document de Malte intitulé « Vers une stratégie de l'IA. Document d'orientation pour consultation publique » (gouvernement de Malte, 2018), qui avance que « le système

éducatif de l'île devra également évoluer et s'adapter aux exigences de la Quatrième Révolution industrielle » ;

- un soutien financier pour la mise en œuvre effective de l'IA, comme la création par la République de Corée de 4 500

bourses nationales pour les étudiants en IA et l'engagement d'environ 2 milliards de dollars pour créer six nouveaux établissements d'enseignement supérieur dans le domaine et 4 millions de dollars pour la recherche sur l'IA.

5.3 Financements, partenariats et coopération internationale

Pour optimiser les avantages et atténuer les risques de la croissance de l'IA dans le champ éducatif, il est essentiel de disposer d'une planification systémique, d'évaluations critiques, d'actions collectives, d'un financement durable, d'une recherche ciblée et solide et de la coopération internationale. La réalité est que peu de pays ou de parties prenantes sont prêts. Peu d'acteurs s'engagent véritablement dans les technologies ou mobilisent des ressources pour s'assurer que l'application de l'IA s'appuie sur une recherche universitaire à grande échelle. La plupart n'ont pas encore reconnu, et encore moins exploré, le fait que l'IA pourrait exiger une réinvention fondamentale de l'apprentissage. Bien plutôt, la discussion reste assez superficielle. Par exemple, beaucoup affirment que la « personnalisation » de l'apprentissage est une bonne chose, mais cette notion est mal définie : s'agit-il de parcours personnalisés d'apprentissage de contenus standardisés, ou de résultats habilement personnalisés ? En bref, il ne suffit pas d'affirmer que l'IA devrait être utilisée dans le champ éducatif. Les acteurs doivent plutôt examiner quelles technologies d'IA sont susceptibles d'être utilisées, comment elles doivent l'être et ce qu'elles peuvent réellement permettre d'accomplir.

Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation

37. Créer des plates-formes facilitant les échanges internationaux sur les cadres réglementaires, instruments et approches relatifs à l'IA dans l'éducation, notamment dans le cadre de la Semaine de l'apprentissage mobile de l'UNESCO et par l'intermédiaire d'autres organismes des Nations Unies, et promouvoir et mettre à profit de la sorte la coopération Sud-Sud et Nord-Sud-Sud afin de faire de l'IA un levier de la réalisation de l'ODD4.
38. Créer des partenariats multipartites et mobiliser les ressources nécessaires pour réduire la fracture créée par l'IA et accroître les investissements en faveur de l'application de l'IA dans l'éducation.

(UNESCO, 2019a, p. 24)

6. Recommandations politiques

6.1 Une vision et des priorités stratégiques à l'échelle systémique

DÉFINIR À L'ÉCHELLE DU SYSTÈME UNE VISION DES POLITIQUES DE L'AI ET DE L'ÉDUCATION

L'objectif premier de l'application de l'IA dans le champ éducatif devrait être d'améliorer l'apprentissage, en permettant à chaque apprenant de développer son potentiel individuel, objectif que les politiques devraient refléter et soutenir. Cependant, si les pays veulent relever les défis de l'ODD 4, les politiques doivent aller au-delà de l'application de l'IA dans les contextes éducatifs, pour inclure tous les liens entre l'IA et l'éducation. Cela signifie notamment qu'il faut enseigner comment l'IA fonctionne et comment elle peut être créée, mais aussi les implications plus larges de l'IA pour la société, à l'échelle locale et mondiale.

Quatre objectifs stratégiques doivent être atteints, à adapter en fonction du contexte local (par exemple, pour de nombreux pays à revenu faible ou intermédiaire, l'accent pourrait être mis sur l'identification et la correction des lacunes dans la préparation à l'IA, notamment en matière d'infrastructure et de financement) :

- garantir l'utilisation inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation ;
- tirer au mieux parti de l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage ;
- promouvoir le développement de compétences nécessaires à la vie à l'ère de l'IA, notamment en enseignant le fonctionnement de l'IA et ses implications pour l'humanité ;
- garantir l'utilisation transparente et contrôlable des données relatives à l'éducation.

Cependant, l'IA n'est pas une solution miracle. Il y a beaucoup d'exagérations à considérer avec précaution, et un grand nombre de défis à relever.

Le principe fondamental et les recommandations stratégiques qui suivent s'inspirent du Consensus de Beijing (UNESCO, 2019a), adopté lors de la Conférence internationale sur l'IA et l'éducation à Pékin (16-18 mai 2019).

Dans ce cadre, après avoir énoncé le principe global en matière de politiques d'IA et d'éducation, nous formulons les recommandations suivantes :

- une **planification** interdisciplinaire et une **gouvernance** intersectorielle ;
- des **politiques** sur l'utilisation équitable, inclusive et éthique de l'IA

- l'élaboration d'un **plan directeur** pour l'utilisation de l'IA dans la gestion de l'éducation, l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation ;
- des essais pilotes, du **suivi** et de **l'évaluation**, et la constitution d'une base de données probantes ;
- des encouragements aux **innovations locales** en matière d'IA pour l'éducation.

ÉVALUER L'ÉTAT DE PRÉPARATION DE L'ENSEMBLE DU SYSTÈME ET CHOISIR LES PRIORITÉS STRATÉGIQUES

- Prendre en compte les compromis quant aux priorités stratégiques pour la planification des politiques d'éducation, notamment entre l'application de l'IA et d'autres priorités, et entre différents domaines d'intervention ou éléments constitutifs des politiques.

Il serait souhaitable que ces compromis soient basés sur un examen réfléchi du potentiel que présentent les technologies d'IA pour soutenir la réalisation des ODD dans le contexte local, en tenant compte d'une pondération par l'exigence d'investir pour la mise en œuvre de politiques et de programmes centrés sur l'application de l'IA dans le champ éducatif. Par la suite, il faudra établir des priorités stratégiques sur la base d'une analyse visant à déterminer si les technologies d'IA existantes et émergentes constituent des solutions adaptées aux défis de la réalisation de l'ODD 4 et de ses cibles ; envisager d'autres ODD en fonction de l'urgence qu'il y a lieu de développer les compétences et les valeurs de l'IA nécessaires dans tous les secteurs locaux ; appliquer ou créer des schémas d'évaluation de la rentabilité pour déterminer si les avantages éducatifs de la mise en œuvre de politiques et de programmes d'IA (par exemple, l'augmentation de l'efficacité, le renforcement de l'efficacité, l'élargissement de l'accessibilité) l'emportent sur les coûts (ceux liés à la rénovation des infrastructures, la formation, l'intégration et les risques de perte de confiance et d'autonomie, de contenu de moindre qualité et d'utilisation abusive des données éducatives).

→ EXEMPLES

Le paysage mondial des stratégies d'IA – Exploration de 50 stratégies nationales d'intelligence artificielle qui façonnent l'avenir de l'humanité : <https://www.holoniq.com/notes/the-global-ai-strategy-landscape/>

Déchiffrer le rêve chinois en matière d'IA – Le contexte, les composantes, les capacités et les conséquences de la stratégie chinoise pour mener le monde en matière d'IA (Ding, 2018) : https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/Deciphering_Chinas_AI-Dream.pdf

■ **Définir les objectifs stratégiques de la politique sur la base de l'état de préparation de l'ensemble du système et de l'évaluation du rapport coût-bénéfice.** Il convient d'utiliser ou développer des outils pour évaluer l'état de préparation de l'IA à l'échelle systémique, notamment l'infrastructure, la connectivité Internet, la disponibilité des données, des outils d'IA et des talents locaux en matière d'IA, les compétences des principaux responsables de la mise en œuvre des politiques et la sensibilisation des parties prenantes. Lors de la définition des objectifs assortis de délais, il faut aussi maintenir des attentes réalistes quant aux avantages que les systèmes d'IA

sont en mesure d'apporter, dans le contexte des lacunes systémiques locales en matière d'effectifs, d'infrastructures et de processus. On doit, enfin, prendre en compte les inconnues conceptuelles et les limites des paradigmes éducatifs qui sont susceptibles d'influencer les capacités des systèmes d'IA ; et pallier le manque d'études systématiques sur l'impact de l'IA dans le champ éducatif.

→ **EXEMPLE**

Indice mondial de préparation à l'IA : <https://bit.ly/2UR2HXp>

6.2 Principe directeur en matière de politiques d'IA et d'éducation

ADOPTER UNE APPROCHE HUMANISTE COMME PRINCIPE GÉNÉRAL DES POLITIQUES DE L'IA ET DE L'ÉDUCATION

■ **Orienter l'élaboration des politiques et des pratiques en matière d'IA et d'éducation vers la protection des droits de l'Homme et l'acquisition des valeurs et des compétences nécessaires au développement durable et à une collaboration efficace entre l'individu et la machine dans la vie, l'apprentissage et le travail.** Veiller à ce que l'IA soit contrôlée par des humains et centrée sur le service aux personnes, et qu'elle soit déployée pour renforcer les capacités des étudiants et des enseignants. Concevoir les applications de l'IA de manière éthique, non discriminatoire, équitable, transparente et contrôlable ; suivre et évaluer l'impact de l'IA sur les personnes et la société tout au long de la chaîne des valeurs.

■ **Favoriser les valeurs humaines nécessaires au développement et à l'application de l'IA.** Analyser la tension potentielle entre les récompenses de la part du marché et les valeurs humaines, les compétences et le bien-être social dans le contexte des technologies d'IA qui augmentent la productivité. Définir des valeurs qui privilégient les personnes

et l'environnement par rapport à l'efficacité, et l'interaction entre individus par rapport à l'interaction homme-machine. Encourager une responsabilité accrue des entreprises et des citoyens face aux problèmes sociétaux particulièrement délicats soulevés par les technologies d'IA (tels que l'équité, la transparence, la responsabilité, les droits de l'homme, les valeurs démocratiques, les préjugés et la vie privée). Veiller à ce que les personnes restent au cœur de l'éducation en tant qu'éléments implicites de la conception de la technologie. Se protéger contre l'automatisation des tâches si n'est pas évaluée et compensée la valeur des pratiques actuelles.

→ **EXEMPLES**

AI For Humanity - Stratégie française pour l'intelligence artificielle : <https://www.aiforhumanity.fr/>

Lignes directrices éthiques pour une IA digne de confiance : <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

Principes sur l'IA - OCDE : <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles>

6.3 Planification interdisciplinaire et gouvernance intersectorielle

MOBILISER L'EXPERTISE INTERDISCIPLINAIRE ET MULTIPARTITE POUR ÉCLAIRER LA PLANIFICATION DES POLITIQUES ET RENFORCER LA CAPACITÉ DES DÉCIDEURS

■ **Renforcer les connaissances et la confiance des décideurs politiques et des responsables de l'éducation afin qu'ils puissent naviguer et prendre les bonnes décisions dans un écosystème éducatif de plus en plus riche en IA.** Offrir des possibilités de formation continue aux décideurs, y compris les experts financiers, les responsables de l'élaboration des politiques et les responsables de la mise en œuvre des politiques ; faciliter l'échange d'expertise et de bonnes pratiques entre les parties prenantes dans et entre les pays ; aligner la compréhension qu'ont les parties prenantes sur les défis éducatifs à relever grâce aux technologies de l'IA.

→ **EXEMPLE**

Cours sur les éléments de l'IA : <https://www.elementsofai.com>

■ **Diffuser une expertise intersectorielle, interdisciplinaire et multipartite pour éclairer les décisions-clefs dans la planification des politiques.** Réunir des communautés d'experts, notamment des éducateurs, des spécialistes de l'apprentissage et des ingénieurs en intelligence artificielle issus de différents domaines de recherche tels que les neurosciences, les sciences cognitives, la psychologie sociale et les sciences humaines, afin de concevoir des technologies d'intelligence artificielle centrées sur l'utilisateur et axées sur les résultats, qui répondent aux besoins réels des cours ; traiter avec les organisations internationales afin d'informer et de conseiller sur l'élaboration des politiques en matière d'IA ; examiner le potentiel de l'IA pour combiner et analyser des sources de données multiples afin d'améliorer l'efficacité de la prise de décision.

→ **EXEMPLE**

Groupe d'experts sur l'intelligence artificielle, European AI Alliance (Commission européenne) : <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/high-level-expert-group-artificial-intelligence>

METTRE EN PLACE DES MÉCANISMES DE GOUVERNANCE ET DE COORDINATION INTERSECTORIELS

■ **Adopter une approche pangouvernementale et systémique de la planification et de la gouvernance des politiques relatives à l'application de l'IA dans le champ éducatif.** Des stratégies systémiques cohérentes et des approches inclusives fondées sur des données probantes (cf. les cadres de conception participative et de cocréation, Pobiner et Murphy, 2018) doivent être exploitées pour garantir que l'IA et l'éducation s'alignent et s'intègrent aux politiques éducatives existantes et à toute stratégie nationale plus large en matière d'IA ; si un consensus est atteint sur l'utilisation de l'IA pour l'ensemble du système éducatif ou des stratégies intersectorielles plus larges, envisager des moyens d'adopter l'IA pour une transformation touchant l'ensemble du système.

■ **Mettre en place une structure organisationnelle systémique pour la gouvernance et la coordination des politiques** afin de garantir que la mise en œuvre équilibre les approches descendantes et ascendantes (logiques *top-down* et *bottom-up*), qui impliquent les principaux partenaires et parties prenantes en optimisant leur collaboration intersectorielle et le partage des ressources. Cette structure devrait comprendre : un conseil d'administration chargé de diriger, de soutenir et de superviser la mise en œuvre de la politique, un organe de coordination chargé de gérer les partenaires et les coopérations, et une équipe de chargés de mission pour mettre en œuvre la politique. Plus important encore, la mise en place et l'application, de manière cohérente, d'un ensemble complet de principes intégrés relatifs à la gouvernance de la politique, pour permettre aux membres du conseil d'assumer pleinement, en tant que titulaires, leur responsabilité.

→ EXEMPLE

Australie : https://education.nsw.gov.au/content/dam/main-education/teaching-and-learning/education-for-a-changing-world/media/documents/Future_Frontiers_discussion_paper.pdf

■ **Construire un cycle ouvert et itératif composé d'étapes-clefs dans la planification, la mise en œuvre, le suivi et la mise à jour de la politique.** Ces étapes doivent créer un processus d'apprentissage continu ; le suivi et la recherche doivent être intégrés au plan directeur en mettant l'accent sur les résultats concrets et les gains en termes de compétences, de connaissances et de valeurs. La communication sur le suivi et la recherche doit être effectuée de manière stratégique et toucher les décideurs afin d'alimenter une base de développement pertinente et éprouvée, fondée sur des données probantes. Le processus de mise en œuvre des politiques doit par ailleurs être ouvert à la révision et à la modification.

■ **Promouvoir la localisation et la réutilisation de l'IA libre pour favoriser le développement local.** Choisir des outils et des plateformes d'IA en code source libre qui peuvent être adaptés au contexte national et culturel, point essentiel dans la mesure où de nombreuses technologies d'IA sont des propriétés intellectuelles exclusives. Employer des stratégies de partage des données et des algorithmes en open source pour favoriser les innovations locales et réduire la fracture numérique entre les pays et au sein des groupes d'apprenants.

→ EXEMPLES

Annuaire global du Sud pour l'IA, foundation « Knowledge 4 All » : <https://www.k4all.org/>;

Projet X5gon (réseau mondial de REL multimodal, interculturel, multilingue, interdomaines et intersites) : <https://www.x5gon.org/>

Société 5.0 - Japon :

https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html

6.4 Politiques et réglementations pour une utilisation équitable, inclusive et éthique de l'IA

DÉFINIR DES OBJECTIFS STRATÉGIQUES TRANSVERSAUX ET PLANIFIER DES RÈGLEMENTS ET DES PROGRAMMES, AFIN DE GARANTIR L'UTILISATION ÉQUITABLE ET INCLUSIVE DE L'AI DANS LE CHAMP ÉDUCATIF

■ **Établir et suivre des objectifs mesurables pour garantir l'inclusion, la diversité et l'égalité dans l'enseignement et le développement des services d'IA.** Identifier les personnes susceptibles de bénéficier de la mise en œuvre de l'IA ; renforcer les infrastructures appropriées, telles que l'accès à Internet, au matériel et aux logiciels, afin que les avantages de l'IA éducative soient exploités de manière équitable. Mettre en œuvre des mesures pour atteindre les groupes les plus vulnérables de la société ; se concentrer sur l'IA éducative qui a fait ses preuves en matière d'inclusion pour des étudiants ayant des origines et des aptitudes différentes.

→ EXEMPLE

Bengladesh numérique : <https://a2i.gov.bd>

■ **Examiner la capacité de l'IA à atténuer ou à amplifier les biais.** Identifier les risques non répertoriés et les atténuer ; tester les outils d'IA et vérifier qu'ils sont exempts de biais (Pennington, 2018) et développés à partir de données représentatives de la diversité en termes de genre, de handicap, de statut social et économique, d'origine ethnique et culturelle, de localisation géographique. Favoriser les mentalités qui valorisent une IA juste et équitable, respectueuse de cette diversité. Stimuler une approche de conception qui intègre l'éthique, la vie privée et la sécurité dans la recherche et le développement de l'IA dans l'éducation.

■ **Créer des applications d'IA exemptes de préjugés sexistes et veiller à ce que les données utilisées pour le développement tiennent compte des questions de genre.** Encourager les applications d'IA qui favorisent l'égalité entre les genres ; donner aux filles et aux femmes des compétences en IA pour accroître l'égalité des sexes parmi la main-d'œuvre et les employeurs.

→ **EXEMPLE**

La publication de l'UNESCO « *I'd blush if I could* » (« Je rougirais si je pouvais »), qui présente des stratégies pour réduire les inégalités entre les genres en matière de compétences numériques : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367416>

■ **Établir des lois sur la protection des données qui rendent la collecte et l'analyse des données éducatives visibles, traçables et contrôlables par les enseignants, les élèves et les parents.** Formuler des politiques claires concernant la propriété, la confidentialité et la disponibilité des données pour le bien public ; suivre les lignes directrices internationales créées par des groupes d'experts autour de questions plus larges liées aux données de l'IA ; respecter une éthique reconnue au niveau international.

→ **EXEMPLES**

Règlement général sur la protection des données applicable à partir du 25 mai 2018 dans tous les États membres de l'UE pour harmoniser les lois sur la confidentialité des données en Europe : <https://gdpr-info.eu/> ;

Lignes directrices en matière d'éthique pour une IA digne de confiance, Union européenne : <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

■ **Étudier les possibilités de trouver un équilibre entre le libre accès et la confidentialité des données.** Tester et adopter les technologies et outils d'IA émergents pour garantir la confidentialité et la sécurité des données à la fois des enseignants et des apprenants ; développer des cadres réglementaires complets pour garantir l'utilisation et la réutilisation éthiques, non discriminatoires, équitables, transparentes et vérifiables des données concernant les apprenants.

■ **Faciliter des débats ouverts sur les questions liées à l'éthique de l'IA, à la confidentialité et à la sécurité des données, et aux préoccupations relatives à l'impact négatif de l'IA sur les droits de l'Homme et l'égalité des genres.** Veiller à ce que l'IA soit utilisée à bon escient et prévenir ses applications néfastes ; aborder la question complexe du consentement éclairé – en particulier dans les contextes éducatifs où de nombreux utilisateurs (tels que les enfants et les étudiants ayant des difficultés d'apprentissage) ne sont pas en mesure de donner un consentement véritablement éclairé.

→ **EXEMPLE**

DataKind, qui milite pour que les organisations sociales aient le même accès aux ressources et aux données que les grandes entreprises technologiques : <https://www.datakind.org>

6.5 Plans directeurs pour l'utilisation de l'IA dans la gestion de l'éducation, l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation.

L'UTILISATION DE L'IA POUR STIMULER ET AMÉLIORER LA GESTION DE L'ÉDUCATION ET LES PRESTATIONS

■ **Étudier comment les technologies d'IA peuvent améliorer les systèmes d'information sur la gestion de l'éducation (SIGE).** Tirer parti de l'IA pour rendre les SIGE plus solides, accessibles, simplifiés, efficaces, conviviaux et performants. Orienter la prise de décision et la gestion fondées sur des données probantes vers un ensemble de processus et de flux de données plus flexibles, dynamiques et démocratisés, plus réactifs aux changements de paradigmes dans le domaine social et éducatif. Investir dans la possibilité d'exploiter les capacités de l'IA pour permettre des prévisions à l'échelle systémique concernant les compétences et la demande, afin que les gouvernements puissent se préparer à répondre aux besoins éducatifs locaux pertinents et à les intégrer à des secteurs tels que la finance, l'économie, le droit et la médecine.

→ **EXEMPLE**

OU Analyse, de l'Open University, prédit les résultats des étudiants et identifie ceux qui risquent d'échouer en analysant les données du système EMIS de l'université : <https://analyse.kmi.open.ac.uk>

■ **Permettre la transformation holistique des SIGE et leur intégration avec les systèmes de gestion de l'apprentissage (SGE, LMS en anglais).** Veiller à ce que les SIGE soient tenus à jour compte tenu des changements déclenchés par la pédagogie alimentée par l'IA, en fournissant les moyens d'intégrer les SGE aux SIGE pour soutenir la progression vers des moyens d'évaluation plus complets, plus riches et mieux adaptés.

→ **EXEMPLE**

Zhixue (apprentissage intelligent) : SGE développé par la société chinoise iFlyTek pour permettre des cours de tutorat en ligne personnalisés : <https://www.zhixue.com/login.html>

■ **Donner aux gestionnaires, aux enseignants et aux étudiants les moyens de promouvoir l'utilisation des SIGE et des SGA dotés de l'IA.** Analyser le coût de l'introduction d'un SIGE et d'un SGA dotés de l'IA dans les écoles. Veiller à ce que l'entrée soit peu coûteuse pour les gestionnaires d'écoles et les enseignants afin qu'ils puissent en retirer des avantages plutôt qu'augmenter les tâches administratives. Mettre en place et suivre des processus visibles et transparents de collecte automatique de données sur les pratiques des enseignants et les activités des élèves. Promouvoir l'utilisation de l'intelligence artificielle pour développer les ressources et les résultats individualisés, afin que les apprenants

puissent avoir une vision personnelle et tirer parti de leurs compétences et de leurs connaissances dans différents contextes, tout en gardant le contrôle de leurs propres données et de leur identité numérique.

→ EXEMPLE

LabXchange, de la Fondation Amgen et de la faculté des Arts et des Sciences de l'université Harvard, plateforme d'enseignement scientifique en ligne gratuite qui offre aux utilisateurs un enseignement personnalisé, des expériences de laboratoire virtuel et des possibilités de mise en réseau au sein de la communauté scientifique mondiale : <https://www.multivu.com/players/English/8490258-amgen-foundation-harvard-labxchange>

CULTIVER UNE UTILISATION DE L'IA CENTRÉE SUR L'APPRENANT POUR AMÉLIORER L'APPRENTISSAGE ET L'ÉVALUATION

■ **Renforcer et répéter l'autorité et l'autonomie des humains sur leur propre apprentissage dans le contexte de machines et d'agents informatiques de plus en plus compétents.** Consulter les enseignants et les étudiants pour connaître leur point de vue sur les technologies d'IA et utiliser leur retour d'information pour décider de la manière dont l'IA doit être déployée dans les environnements d'apprentissage. Informer les étudiants des types de données collectées sur eux, de la manière dont elles sont utilisées et de l'impact que cela peut avoir sur leur apprentissage, leur carrière et leur vie sociale. Empêcher les établissements d'utiliser les technologies d'IA à des fins de surveillance – au contraire, cultiver la confiance entre étudiants et utiliser l'IA pour soutenir leurs progrès au lieu de les surveiller davantage.

■ **Mettre l'accent sur l'autonomie et le bien-être social des étudiants dans le processus d'intégration des outils basés sur l'IA.** Protéger l'autonomie et la motivation des élèves pour qu'ils puissent s'épanouir en tant qu'individus ; protéger le temps de jeu et de loisirs, les interactions sociales et les pauses scolaires. Utiliser les outils d'IA pour minimiser la pression des devoirs à la maison et des examens, plutôt que de la renforcer. Aider les apprenants à s'adapter aux nouveaux outils et méthodologies de l'IA afin qu'ils puissent exercer une influence positive sur leur apprentissage ; leur permettre de faire des observations et de donner leur avis sur les défis nés de l'utilisation de l'IA en classe.

→ EXEMPLES

AlphaEgg, robot intelligent pour la garde d'enfants, développé par iFlyTek : <https://ifworlddesignguide.com/entry/203859-alphaegg>

Le CoWriter : apprendre à écrire avec un robot, développé par CHILI (Computer-Human Interaction in Learning and Instruction), Université technique de l'EPFL, Suisse : <https://www.epfl.ch/labs/chili/index-html/research/cowriter> et https://www.youtube.com/watch?v=E_iozVysl5g

■ **Réviser et ajuster les programmes pour refléter les changements pédagogiques et d'évaluation apportés par l'adoption de plus en plus large de l'IA dans l'enseignement et l'apprentissage.** Coopérer avec les fournisseurs d'IA et les éducateurs pour s'accorder sur les réponses les plus

appropriées aux changements dans les programmes et les méthodologies d'évaluation, afin de fournir un environnement politique favorable et des espaces dans les curriculums pour explorer l'IA. Encourager la participation des représentants étudiants aux initiatives nationales visant à promouvoir de nouvelles compétences dans les programmes.

→ EXEMPLE

Éducation numérique (Digital Education), programmation et robotique pour tous les élèves argentins : <https://www.argentina.gob.ar/educacion/aprender-conectados/nucleos-de-aprendizajes-prioritarios-nap>

■ **Tester et déployer des technologies d'IA pour soutenir l'évaluation multidimensionnelle des compétences et des résultats.** Intégrer l'IA dans les évaluations psychométriques, en incluant éventuellement des conversations de type chatbot avec les étudiants dans les tests de jugement situationnel. Éviter d'utiliser l'IA comme seul moyen de prévoir l'évolution future des études et de la carrière des étudiants. Faire preuve de prudence lors de l'adoption de la notation automatique par algorithme des réponses à des questions à base de règles » [« *rule-based* »] ; aider les enseignants à utiliser l'évaluation formative basée sur l'IA en tant que fonction intégrée d'un SGA alimenté par l'IA pour analyser les données sur l'apprentissage des élèves avec une précision et une efficacité accrues doublées d'une réduction des biais humains. Explorer le potentiel du contrôle continu basé sur l'IA pour fournir des mises à jour régulières aux enseignants, aux élèves et aux parents. Dans une perspective humaniste, tester et évaluer l'utilisation de la reconnaissance faciale et d'autres IA pour l'authentification et la surveillance des utilisateurs dans les évaluations en ligne à distance.

→ EXEMPLE PARTIEL

Vers des systèmes d'évaluation basés sur l'IA : https://www.researchgate.net/publication/314088884_Towards_artificial_intelligence-based_assessment_systems

VEILLER À CE QUE L'AI SOIT UTILISÉE POUR RENFORCER LES DYNAMIQUES DES ENSEIGNANTS

Protéger les droits des enseignants et la valeur de leurs pratiques. Mener des consultations avec les éducateurs pour s'assurer que leurs droits sont protégés et leurs opinions prises en compte lors du déploiement des technologies d'IA. Réaliser des études pilotes et des essais à grande échelle axés sur la prise en compte des besoins pratiques quotidiens des enseignants lors de l'intégration des technologies d'IA ; faciliter le développement d'outils d'IA pour soutenir l'enseignement plutôt que pour remplacer les fonctions des enseignants au cœur de leur métier. Fournir des pistes fondées sur des données ayant force de preuve et permettant aux enseignants de s'orienter dans les offres du secteur privé en matière de technologies basées sur l'IA ; élaborer des critères et des évaluations pour les aider à prendre des décisions éclairées sur les outils les plus adaptés à leurs besoins.

■ **Analyser et revoir le rôle des enseignants qui facilitent le transfert de connaissances, l'interaction humaine, la pensée de haut niveau et les valeurs humaines.** Analyser les avantages de l'automatisation de certaines tâches par rapport aux risques de réduire ou de nuire aux pratiques d'apprentissage. Ne pas exagérer l'automatisation de tâches qui prennent du temps mais qui sont également instructives pour les enseignants ; identifier les points concrets qui reposent sur l'autonomie et la motivation des enseignants ; préserver et améliorer ces éléments dans le processus d'introduction de l'IA dans les pratiques pédagogiques, et continuer d'avoir confiance en l'autorité et les capacités des professeurs.

■ **Définir les ensembles de compétences dont les enseignants ont besoin pour rechercher et mettre en œuvre les outils d'IA dans la conception et l'organisation de leurs activités d'apprentissage et dans leur propre développement professionnel.** Analyser les compétences nécessaires à la collaboration homme-machine dans les environnements d'enseignement. Évaluer les changements de modèle nécessaires pour appliquer l'IA au développement professionnel des enseignants, aux évaluations basées sur l'IA et à la conception et la mise en œuvre d'activités d'apprentissage améliorées par l'IA. Mettre à jour les cadres et les programmes de formation des professeurs en se référant au cadre de compétences en TIC de l'UNESCO pour les enseignants (UNESCO, 2018).

■ **Assurer des formations et un soutien continu pour aider les enseignants à acquérir les compétences nécessaires pour utiliser efficacement l'IA.** Élaborer et dispenser des programmes de formation sur les compétences requises avant de déployer des plateformes ou des outils d'IA ; éviter les situations où les enseignants se retrouvent dans l'incapacité de remplir leur rôle en raison de fonctionnalités d'IA indisponibles ou peu fiables. Anticiper pour permettre aux professeurs d'appliquer les nouvelles technologies d'IA à leurs pratiques actuelles et de passer à de nouvelles méthodes de travail ; encourager la formation de communautés d'éducateurs qui partagent leurs expériences et les meilleures pratiques au jour le jour et favorisent les utilisations innovantes des outils d'IA. Fournir des lignes directrices simplifiées à partir de la recherche sur les technologies émergentes afin de mettre à jour les enseignants à propos des récentes découvertes qu'ils pourraient appliquer en classe, et augmenter les occasions d'apprentissage tout au long de la vie pour les professeurs afin qu'ils suivent l'évolution apportée par les changements dus à l'IA à l'intérieur et à l'extérieur de la classe.

→ EXEMPLES

Cadre de compétences en TIC de l'UNESCO à destination des enseignants :

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>

Ressources sur l'IA dans l'éducation K-12 (jusqu'au secondaire), Société internationale pour la technologie dans l'éducation (ISTE) : <https://www.iste.org/learn/AI-in-education>

PLANIFIER L'UTILISATION DE L'AI POUR SOUTENIR L'APPRENTISSAGE TOUT AU LONG DE LA VIE, QUELS QUE SOIENT L'ÂGE, LE LIEU ET LE CONTEXTE

■ **Effectuer une recherche et une promotion actives quant à l'utilisation de l'IA pour soutenir un large éventail d'approches éducatives et diverses voies d'apprentissage tout au long de la vie.** Mettre en place et soutenir la capacité des institutions à tirer parti de l'IA pour devenir plus dynamiques, pour servir un plus grand nombre d'apprenants non traditionnels et fournir un apprentissage continu dans des cadres formels, non formels et informels. Suggérer des mécanismes viables permettant aux institutions traditionnelles de s'orienter vers des méthodes hybrides, combinant l'enseignement en face-à-face avec des cours dynamiques alimentés par l'IA ; fournir des incitations aux partenariats entre les institutions et les fournisseurs d'IA, afin de favoriser le développement d'outils d'IA qui optimisent les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie.

■ **Créer des outils et des systèmes d'intelligence artificielle pour suivre les résultats de l'apprentissage et les diplômes et certifications à tous les niveaux et dans tous les lieux d'étude.** Développer des plateformes, des outils et des systèmes d'IA pour suivre les résultats de l'apprentissage et faciliter la spécialisation selon les compétences ; explorer les moyens d'utiliser l'IA pour élargir la disponibilité des titres et grades de formation et des parcours de qualification.

→ EXEMPLES PARTIELS

Initiative SkillsFuture, gouvernement de Singapour :

<https://www.skillsfuture.gov.sg> ;

OpenCert (Singapour), qui soutient la vérification des certificats d'apprentissage tout au long de la vie obtenus auprès de « n'importe quelle » institution : <https://opencerts.io>

■ **S'attaquer aux déséquilibres générationnels dans l'accès à l'IA.** Mettre en place des campagnes pour combattre les obstacles pour les groupes les plus fragiles, notamment les personnes âgées, et lancer des projets qui suscitent l'intérêt pour l'IA parmi les apprenants de générations et de milieux différents.

DÉVELOPPER DES VALEURS ET DES COMPÉTENCES POUR LA VIE ET LE TRAVAIL À L'ÈRE DE L'IA

■ **Construire des modèles de prédiction pour identifier les tendances en matière d'emploi et de compétences, et développer des programmes de reconversion pour les personnes occupant des emplois menacés par l'automatisation de l'IA.** Identifier les coûts sociaux de l'automatisation des emplois et sensibiliser le public aux changements qui, au niveau national et mondial, en résultent en matière de demande de compétences. À l'échelle nationale, mettre l'accent sur l'amélioration des compétences durables à tous les niveaux de l'enseignement ; proposer des options de reconversion et encourager la persévérance de la main-d'œuvre pour faire face à la transformation systémique et à long terme du marché du travail. Prévoir des protections spéciales pour les travailleurs âgés qui peuvent avoir plus de mal à acquérir de nouvelles compétences et à s'adapter à de nouveaux environnements. Encourager les programmes de formation à mettre l'accent sur l'impact de l'IA concernant chaque profession.

→ EXEMPLE

Prévision des compétences du CEDEFOP (Centre européen pour le développement de la formation professionnelle) :
Outil européen de prévision et de préparation des compétences : <https://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/data-visualisations/skills-forecast>

■ **Intégrer les compétences liées à l'IA dans les programmes scolaires et les qualifications de l'enseignement et de la formation techniques et professionnels (EFTP).** Adopter des changements dans les programmes scolaires pour préparer les étudiants à l'avenir, en veillant à ce qu'ils soient adaptés aux évolutions dans l'économie, sur le marché du travail et dans la société, au regard de toutes les matières et toutes les compétences. Développer des cours, des programmes et des qualifications afin de sensibiliser et de fournir une expertise sur le fonctionnement des technologies de l'IA, ce qu'elles impliquent en matière d'éthique et la manière dont elles devraient être conçues. Encourager le développement d'outils d'apprentissage de l'IA qui s'appuient sur des recherches pédagogiques et des méthodologies solides.

→ EXEMPLES

Wekinator, logiciel gratuit et open source créé par Rebecca Fiebrink, avec lequel on peut utiliser l'apprentissage automatique pour construire de nouveaux instruments de musique, des contrôleurs de jeux gestuels et des systèmes de vision et d'écoute par ordinateur : <http://www.wekinator.org/>

Teaching AI for K12, portail créé par l'UNESCO et Ericsson : liens vers des ressources gratuites que les enseignants peuvent utiliser pour enseigner l'IA, plus quelques informations pour aider les enseignants à se familiariser avec l'IA : <http://teachingaifork12.org>

■ **Prendre des mesures institutionnelles pour améliorer la connaissance de l'IA parmi tous les secteurs de la société.** Fournir à tous les citoyens une éducation de base sur l'IA, en leur apprenant à réfléchir de manière critique et responsable à leurs choix, leurs droits et leurs privilèges dans le contexte de l'IA et de son influence sur leur vie quotidienne. Les informer sur la manière de protéger leur vie privée et de contrôler leurs propres données et leurs décisions. Mettre à bas les mythes et le battage médiatique autour de l'IA en éduquant la population sur ses limites, ainsi que sur les différences entre l'IA et l'intelligence humaine. Prendre soin d'intégrer les compétences émergentes en matière d'IA aux compétences fondamentales existantes, telles que les compétences en matière de médias et d'information, et identifier les moyens d'articuler les différentes compétences requises pour éviter de surcharger les programmes.

→ EXEMPLE

1 pour cent : Plan de la Finlande pour former sa population à l'IA : <https://www.politico.eu/article/finland-one-percent-ai-artificial-intelligence-courses-learning-training>

■ **Aider les établissements d'enseignement supérieur et de recherche à encourager les talents locaux en matière d'IA.** Élaborer des plans pour aider les établissements d'enseignement supérieur et de recherche à mettre en place ou à améliorer des programmes visant à développer les talents locaux en matière d'IA, et créer un vivier, équilibré en matière de parité hommes-femmes, de professionnels issus de divers milieux socio-économiques et possédant l'expertise nécessaire pour concevoir des systèmes d'IA. Développer des programmes de master exécutif pour une remise à niveau des ingénieurs en IA, et inciter les sociétés d'ingénierie à investir dans la reconversion de leur main-d'œuvre dans l'IA.

■ **Éviter la fuite des talents locaux en matière d'IA.** Inciter les entreprises d'IA à s'implanter localement ; atténuer les différences régionales en matière de salaires et de récompenses ; et garder les professionnels de l'IA en leur proposant des défis intellectuels intéressants et un équilibre satisfaisant entre vie professionnelle et vie privée.

→ EXEMPLES

Next AI : programme dispensé sur les campus de Toronto et de Montréal au Canada pour identifier les équipes talentueuses et tirer parti des ressources du Canada pour leur fournir le capital, le mentorat, l'éducation et le réseau nécessaires : <https://www.nextcanada.com/next-ai/>

Initiative du gouvernement chinois pour former 500 professeurs d'université et 5 000 étudiants en IA : <https://www.ecns.cn/2018/04-07/298280.shtml>

6.6 Essais pilotes, suivi et évaluation, et constitution d'une base de données fiable

CONSTRUIRE UNE BASE DE DONNÉES FIABLE POUR SOUTENIR L'UTILISATION DE L'IA DANS L'ÉDUCATION

■ Tester et mettre à l'échelle des méthodes d'application de l'IA à l'apprentissage fondées sur des données probantes.

Conformément aux priorités éducatives, plutôt qu'en suivant la nouveauté pour la nouveauté ou le battage médiatique, encourager les essais pilotes et l'adoption en toute connaissance de cause de technologies telles que les modèles d'apprentissage personnalisé améliorés par l'IA, les systèmes de tutorat basés sur le dialogue, les systèmes d'apprentissage exploratoire, les systèmes d'évaluation automatique de l'écriture, les outils d'apprentissage des langues, les générateurs d'œuvres d'art et de musique basés sur l'IA, les chatbots, les outils de réalité virtuelle et augmentée, ou encore les orchestrateurs de réseaux d'apprentissage. Encourager l'adoption d'outils d'IA qui favorisent des environnements d'apprentissage ouverts, qui permettent des explorations et qui soient diversifiés. Favoriser les capacités générales et transférables, notamment les compétences socio-émotionnelles, la métacognition, la collaboration, la résolution de problèmes et la créativité. Veiller à ce que l'application de l'IA dans l'éducation soit stratégique (c'est-à-dire qu'elle vise des objectifs pédagogiques à long terme) plutôt qu'à court terme ou ponctuelle.

→ EXEMPLES

ITalk2Learn : projet européen collaboratif de trois ans (novembre 2012 - octobre 2015) visant à développer une plateforme de tutorat intelligent open source pour soutenir l'apprentissage des mathématiques à destination d'élèves âgés de 5 à 11 ans : <https://www.italk2learn.com/>

FractionsLab, Royaume-Uni : environnement d'apprentissage exploratoire pour enseigner les fractions avec un feedback piloté par l'IA : <http://fractionslab.lkl.ac.uk>

Squirrel AI Learning, développé par le groupe chinois Yixue : moteur d'apprentissage adaptatif basé sur l'algorithme de reconnaissance des formes : <http://squirrelai.com/> ; <https://www.technologyreview.com/s/614057/china-squirrel-has-started-a-grand-experiment-in-ai-education-it-could-reshape-how-the/>

SmartMusic : suite d'outils d'éducation musicale en ligne qui soutient la pratique et le développement des musiciens : <https://www.smartmusic.com/>

AIArtists.org : fournit des outils créatifs pour générer de l'art IA : <https://aiartists.org/ai-generated-art-tools>

■ **Établir des critères spécifiques à l'IA, fondés sur des recherches et des méthodologies pédagogiques éprouvées, afin de vérifier de manière systématique et rigoureuse les affirmations des distributeurs sur le potentiel de l'IA.** Développer des critères spécifiques à l'IA qui prennent en compte les préoccupations humaines, sociales et éthiques liées à chacune des trois composantes essentielles de l'application de l'IA dans le champ éducatif : les données, les analyses algorithmiques et les pratiques pédagogiques.

■ Encourager les évaluations pilotes locales des systèmes d'IA afin d'évaluer leur pertinence et leur efficacité.

Concevoir et faire réaliser par des prestataires externes des évaluations pilotes à grande échelle des systèmes d'IA. Vérifier s'ils sont adaptés au contexte local et efficaces en termes de pratiques éducatives, d'objectifs, de diversité, de culture et de démographie. Utiliser les résultats pour personnaliser les données, la conception et l'intégration du système d'IA en réponse aux besoins locaux. Contrôler l'application du système pour éviter les conflits d'intérêts ou les partenariats, ainsi que les divergences liées à la protection ou à la propriété des données.

■ **Calculer et analyser le coût environnemental de l'exploitation des technologies d'IA à grande échelle.** Définir des objectifs durables à atteindre par les entreprises d'IA dans leur offre afin d'éviter de contribuer au changement climatique et aux dommages causés à l'environnement naturel. Encourager les moyens de production écologiques de l'énergie et les ressources nécessaires au déploiement de l'IA à grande échelle.

RENFORCER LA RECHERCHE ET L'ÉVALUATION DANS LE DOMAINE DE L'IA ET DE L'ÉDUCATION

■ **Favoriser l'utilisation de l'IA pour promouvoir et améliorer la recherche et l'innovation dans le domaine de l'éducation.** Exploiter les pratiques et les méthodologies de collecte de données de l'IA pour améliorer la recherche sur les technologies éducatives. Tirer les leçons des réussites et généraliser les pratiques fondées sur des données factuelles.

■ **Réaliser un examen global des impacts de l'IA sur l'éducation.** Exploiter les processus de recherche et d'examen pour comprendre pleinement les implications sociales et éthiques de l'intégration de l'IA dans les contextes éducatifs locaux ; examiner de manière critique les défis et les risques inexplorés, notamment les changements non seulement dans la collaboration entre enseignants et étudiants et entre étudiants eux-mêmes, mais aussi sur le plan de la dynamique sociale.

■ **Encourager les investissements et fournir des financements ciblés afin de construire un écosystème solidement fondé pour l'IA dans le champ éducatif.** Contribuer à stimuler et à soutenir la recherche et le développement d'applications de l'IA dans le secteur commercial et l'enseignement supérieur, en renforçant l'expertise locale tout en minimisant l'influence des intérêts particuliers.

■ **Financer et encourager la recherche sur l'IA et l'éducation en dehors du développement piloté par les gouvernements et les entreprises.** Protéger l'évolution et l'expansion de l'expertise locale en matière d'IA dans le champ éducatif via la recherche académique et minimiser l'influence des intérêts particuliers sur le type d'IA développée et la manière dont elle est évaluée.

→ **EXEMPLE**

Centre de recherche international sur l'intelligence artificielle (IRCAI) sous l'égide de l'UNESCO : sa mission est de mener des activités de recherche, de défense, de renforcement des capacités et de diffusion d'informations sur l'IA : <https://ircai.org/>

6.7 Encourager les innovations locales en matière d'IA pour l'éducation

PROMOUVOIR LE DÉVELOPPEMENT LOCAL DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION DANS LE CHAMP ÉDUCATIF

■ **Attirer les investissements des entreprises et fournir des fonds pour créer une base de données fiable.** Contribuer à stimuler et à soutenir le développement d'outils d'IA dans le champ éducatif qui soient centrés sur l'humain, en réunissant des apprenants, des bailleurs de fonds, des développeurs commerciaux, des enseignants et des spécialistes de l'apprentissage, afin de remédier aux défaillances du marché, de faire face à la complexité des pratiques éducatives à l'échelle internationale et de résoudre les difficultés liées à la mise en œuvre à grande échelle des diverses initiatives.

■ **Favoriser les innovations et l'incubation locale de technologies et d'outils d'IA.** Créer des synergies entre expertise, ressources et capacités, et exploiter les méthodologies de recherche fondées sur des données avérées dans la conception de l'IA par les entreprises. Produire des évaluations indépendantes de l'IA ciblant les usagers et encourager les progrès vers un avenir pour le développement de l'IA qui soit harmonieux et centré sur l'humain. Investir dans l'éducation et la formation des talents locaux et susciter l'envie de créer localement des écosystèmes de start-ups liées à l'IA, au sein d'un réseau d'investissement et d'accès au marché du travail et à celui de la consommation. S'engager dans des collaborations internationales afin de créer des ressources et des capacités pour le déploiement à grande échelle de technologies basées sur l'IA, afin de permettre le développement à l'échelle locale d'outils et de compétences en matière d'IA.

→ **EXEMPLE**

IBM Research–Africa, 12^e laboratoire de recherche mondial d'IBM et premier centre de recherche industrielle du continent : il stimule l'innovation en développant des solutions commercialement viables pour transformer des existences et susciter de nouvelles opportunités commerciales dans des domaines d'importance cruciale comme l'éducation : <https://www.research.ibm.com/labs/africa>

7. Références

- Adams, R. 2019. Artificial intelligence has a gender bias problem – just ask Siri. *The Conversation*. Disponible (en anglais) à : <https://theconversation.com/artificial-intelligence-has-a-gender-bias-problem-just-ask-siri-123937> (dernier accès 28 mars 2021).
- AIArtists.org. 2019. *AIArtists*. Disponible (en anglais) à : <https://aiartists.org/ai-generated-art-tools> (dernier accès 28 mars 2021).
- Baker, T., Smith, L. and Anissa, N. 2019. *Educ-AI-tion Rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges*. London, NESTA. Disponible (en anglais) à : <https://www.nesta.org.uk/report/education-rebooted> (dernier accès 28 mars 2021).
- Barrett, H. 2017. Plan for five careers in a lifetime. *Financial Times*. Disponible (en anglais) à : <https://www.ft.com/content/0151d2fe-868a-11e7-8bb1-5ba57d47eff7> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B. and Tanaka, F. 2018. Social robots for education : A review. *Science Robotics*, Vol. 3, No. 21, pp. 1–9.
- Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K. and Smith, T. J. 2014. ECHOES : An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism. *Information Sciences*, Vol. 264, pp. 41–60.
- Bhutani, A. and Wadhvani P. 2018. Artificial Intelligence (AI) in Education Market Size, By Model (Learner, Pedagogical, Domain), By Deployment (On-Premise, Cloud), By Technology (Machine Learning, Deep Learning, Natural Language Processing (NLP)), By Application (Learning Platform & Virtual Facilitators, Intelligent Tutoring System (ITS), Smart Content, Fraud & Risk Management), By End-Use (Higher Education, K-12 Education, Corporate Learning), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential Competitive Market Share & Forecast, 2018 – 2024. Disponible (en anglais) à : <https://www.gminsights.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-in-education-market> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Bloom, B. S. 1984. The 2 Sigma Problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, Vol. 13, no. 6, pp. 4–16.
- 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., ... Amodeli, D. 2020. Language Models are Few-Shot Learners. ArXiv:2005.14165 [Cs]. Disponible (en anglais) à : <http://arxiv.org/abs/2005.14165> (dernier accès 22 février 2021).
- Brynjolfsson, E. and McAfee, A., 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. WW Norton & Company, New York, NY.
- Burt, A. 2019. The AI Transparency Paradox, Harvard Business Review [Online]. Disponible (en anglais) à : <https://hbr.org/2019/12/the-ai-transparency-paradox> (dernier accès 28 décembre 2020).
- Carbonell, J. R. 1970. AI in CAI: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 190–202.
- Carretero, S., Vuorikari, R., and Punie, Y. 2017. DigComp 2.1: *The digital competence framework for citizens with eight proficiency levels and examples of use*, EUR 28558 EN. Disponible (en anglais) à : [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_\(online\).pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_(online).pdf) (dernier accès 22 février 2021).
- CEDEFOP, 2019. *Skills Forecast: EU tool for skills prediction and preparation*. Disponible (en anglais) à : <https://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/data-visualisations/skills-forecast> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Cohen, P.A., Kulik, J.A. and Kulik, C.-L.C. 1982. Educational Outcomes of Tutoring: A Meta-Analysis of Findings. *American Educational Research Journal* 19, 237–248.
- COMEST (UNESCO World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology) 2019. Preliminary Study on the Ethics of Artificial Intelligence. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367823>. (dernier accès 28 décembre 2020).
- Connor, N. 2018. Chinese school uses facial recognition to monitor student attention in class. *The Telegraph*. Disponible (en anglais) à : <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/05/17/chinese-school-uses-facial-recognition-monitor-student-attention> (dernier accès 28 décembre 2020).
- Cukurova, M., Luckin, R., Mavrikis, M. and Millán, E., 2017. Machine and human observable differences in groups' collaborative problem-solving behaviours, in: European Conference on Technology Enhanced Learning. Springer, pp. 17–29.
- DataKind, 2013. *DataKind*. Disponible (en anglais) à : <https://www.datakind.org> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Dautenhahn, K., Nehaniv, C. L., Walters, M. L., Robins, B., Kose-Bagci, H., Mirza, N. A. and Blow, M. 2009. KASPAR – a minimally expressive humanoid robot for human–robot interaction research. *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 6, No. 3-4, Special Issue on Humanoid Robots, pp. 369–397.
- Dean Jr., D. and Kuhn, D. 2007. Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, Vol. 91, No. 3, pp. 384–397.

- Ding, J. 2018. *Deciphering China's AI Dream. The Context, Components, Capabilities, and Consequences of China's Strategy to Lead the World in AI*. Centre for the Governance of AI, Future of Humanity Institute, University of Oxford. Disponible (en anglais) à : https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/Deciphering_Chinas_AI-Dream.pdf (dernier accès 22 février 2021).
- Dong, X., Wu, J. and Zhou, L. 2017. Demystifying AlphaGo Zero as AlphaGo GAN. Disponible (en anglais) à : <http://arxiv.org/abs/1711.09091> (dernier accès 15 février 2020).
- Douglas, L. 2017. AI is not just learning our biases; it is amplifying them. *Medium*. Disponible (en anglais) à : <https://medium.com/@laurahelendouglas/ai-is-not-just-learning-ourbiases-it-is-amplifying-them-4d0dee75931d> (dernier accès 28 août 2018).
- du Boulay, B. 2016. Artificial intelligence as an effective classroom assistant. *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 31, No. 6, pp. 76–81.
- du Boulay, B., Poulouvassilis, A., Holmes, W. and Mavrikis, M. 2018. What does the research say about how artificial intelligence and big data can close the achievement gap? R. Luckin (ed.), *Enhancing Learning and Teaching with Technology*. London, Institute of Education Press, pp. 316–327.
- ECNS. 2018. *China to train 500 teachers in AI*. Disponible (en anglais) à : <http://www.ecns.cn/2018/04-07/298280.shtml> (dernier accès 29 décembre 2020).
- EPFL Technical University, n.d.. *The CoWriter*. Disponible (en anglais) à : <https://www.epfl.ch/labs/chili/index-html/research/cowriter> (dernier accès 29 décembre 2020).
- European Union. 2016. *General Data Protection Regulation*. Disponible (en anglais) à : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679> (dernier accès 22 février 2021).
- European Union. 2018. *The General Data Protection Regulation*. Disponible (en anglais) à : <https://gdpr-info.eu> (dernier accès 29 décembre 2020).
- European Union. 2019. *Ethics guidelines for trustworthy AI*. Disponible (en anglais) à : <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Feathers, T. 2019. Flawed Algorithms Are Grading Millions of Students' Essays. *Vice*. Disponible (en anglais) à : https://www.vice.com/en_us/article/pa7dj9/flawed-algorithms-are-grading-millions-of-students-essays (dernier accès 13 janvier 2020).
- Feng, J. 2019. China to curb facial recognition technology in schools. *SupChina*. Disponible (en anglais) à : <https://supchina.com/2019/09/06/china-to-curb-facial-recognition-technology-in-schools> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Ferguson, R., Brasher, A., Clow, D., Cooper, A., Hillaire, G., Mittelmeier, J., Rienties, B., Ullmann, T. and Vuorikari, R. 2016. Research Evidence on the Use of Learning Analytics: Implications for Education Policy. Disponible (en anglais) à : <http://oro.open.ac.uk/48173/> (dernier accès 22 février 2021).
- Fiebrink, R. 2018. *The Wekinator*. Disponible (en anglais) à : <http://www.wekinator.org> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Finnish Government. 2019. *1 Percent*. Disponible (en anglais) à : <https://www.politico.eu/article/finland-one-percent-ai-artificial-intelligence-courses-learning-training/> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Ford, M. 2018. *Architects of Intelligence: The truth about AI from the people building it*. Birmingham, Packt Publishing.
- Frey, C.B. and Osborne, M. A. 2017. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change* 114: 254–280.
- Frontier Economics. 2018. *The Impact of Artificial Intelligence on Work*. An evidence review prepared for the Royal Society and the British Academy. Disponible (en anglais) à : <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/ai-and-work/frontier-review-the-impact-of-AI-on-work.pdf> (dernier accès 3 février 2021).
- Giest, S. 2017. Big data for policymaking: Fad or fast-track? *Policy Sciences*, Vol. 50, No. 3, pp. 367–382.
- Goel, A.K. and Polepeddi, L. 2017. Jill Watson: A virtual teaching assistant for online education. Georgia Institute of Technology. Disponible (en anglais) à : <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/59104> (dernier accès 22 février 2021).
- Goertzel, B. 2007. Human-level artificial general intelligence and the possibility of a technological singularity: A reaction to Ray Kurzweil's *The Singularity Is Near*, and McDermott's critique of Kurzweil. *Artificial Intelligence*, Vol. 171, No. 18, Special Review Issue, pp. 1161–1173.
- Government of Malta. 2019. *Towards an AI Strategy. High-level policy document for public consultation*. Available at: https://malta.ai/wp-content/uploads/2019/04/Draft_Policy_document_-_online_version.pdf (dernier accès 2 janvier 2020).
- Government of the People's Republic of China. 2017. *Next Generation of Artificial Intelligence Plan*. Disponible (en anglais) à : <https://flia.org/wp-content/uploads/2017/07/A-New-Generation-of-Artificial-Intelligence-Development-Plan-1.pdf> (dernier accès 22 février 2021).
- Government of the Republic of Korea. 2016. *Mid- to Long-Term Master Plan in Preparation for the Intelligent Information Society: Managing the Fourth Industrial Revolution*. Disponible (en anglais) à : <http://www.msip.go.kr/dynamic/file/afieldfile/msse56/1352869/2017/07/20/Master%20Plan%20for%20the%20intelligent%20information%20society.pdf> (dernier accès 15 mars 2019).
- Graesser, A. C., VanLehn, K., Rosé, C. P., Jordan, P. W. and Harter, D. 2001. Intelligent tutoring systems with conversational dialogue. *AI Magazine*, Vol. 22, No. 4, p. 39.
- Graham, J. 2018. Meet the robots teaching Singapore's kids tech. Disponible (en anglais) à : https://apolitical.co/solution_article/meet-the-robots-teaching-singapores-kids-tech/ (dernier accès 5 avril 2019).

- Hao, K. 2019. In 2020, let's stop AI ethics-washing and actually do something - MIT Technology Review [WWW Document]. MIT Technology Review. Disponible (en anglais) à : <https://www.technologyreview.com/s/614992/ai-ethics-washing-time-to-act/> (dernier accès 13 janvier 2020).
- Harvard University and Amgen Foundation. 2020. *LabXchange*. Disponible (en anglais) à : <https://www.multivu.com/players/English/8490258-amgen-foundation-harvard-labxchange> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Harwell, D. 2019. Colleges are turning students' phones into surveillance machines, tracking the locations of hundreds of thousands [WWW Document]. Washington Post. Disponible (en anglais) à : <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/12/24/colleges-are-turning-students-phones-into-surveillance-machines-tracking-locations-hundreds-thousands> (dernier accès 3 janvier 2020).
- Hawking, S., Russell, S., Tegmark, M. and Wilczek, F. 2014. Transcendence looks at the implications of artificial intelligence – but are we taking AI seriously enough? *The Independent*, May. Disponible (en anglais) à : <http://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-transcendence-looks-at-the-implications-of-artificial-intelligence-but-are-we-taking-ai-seriously-enough-9313474.html> (dernier accès 13 septembre 2015).
- Heikkila, A. 2018. Telepresence In Education And The Future Of eLearning. eLearning Industry. Disponible (en anglais) à : <https://elearningindustry.com/telepresence-in-education-future-elearning> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Herodotou, C., Gilmour, A., Borooa, A., Rienties, B., Zdrahal, Z. and Hlosta, M. 2017. Predictive modelling for addressing students' attrition in higher education: The case of OU Analyse. The Open University, Milton Keynes, United Kingdom. Disponible (en anglais) à : <http://oro.open.ac.uk/49470/> (dernier accès 5 novembre 2018).
- Herold, B. 2018. How (and Why) Ed-Tech Companies Are Tracking Students' Feelings [WWW Document]. Education Week. Disponible (en anglais) à : <https://www.edweek.org/technology/how-and-why-ed-tech-companies-are-tracking-students-feelings/2018/06> (dernier accès 28 décembre 2020).
- HITSA. 2017. *ProgeTiger Programme 2015-2017*. Disponible (en anglais) à : <https://www.hitsa.ee/it-education/educational-programmes/progetiger> (dernier accès 1er novembre 2019).
- Holmes, W., Anastopoulou, S., Schaumburg, H. and Mavrikis, M. 2018a. *Technology-Enhanced Personalised Learning: Untangling the evidence*. Stuttgart, Robert Bosch Stiftung. Disponible (en anglais) à : https://www.bosch-stiftung.de/sites/default/files/publications/pdf/2018-08/Study_Technology-enhanced%20Personalised%20Learning.pdf (dernier accès 22 février 2021).
- Holmes, W., Bektik, D., Whitelock, D. and Woolf, B. P. 2018b. Ethics in AIED: Who cares? C. Penstein Rosé, R. Martínez- Maldonado, H. U. Hoppe, R. Luckin, M. Mavrikis, K. Porayska-Pomsta, B. McLaren, and B. du Boulay (eds.), *Lecture Notes in Computer Science*. London, Springer International Publishing, vol. 10948, pp. 551–553.
- Holstein, K., McLaren, B. M. and Alevin, V. 2018. Student learning benefits of a mixed-reality teacher awareness tool in AI-enhanced classrooms. C. Penstein Rosé, R. Martínez-Maldonado, H. U. Hoppe, R. Luckin, R., M. Mavrikis, K. Porayska-Pomsta, B. McLaren, and B. du Boulay (eds.), *Proceedings of the 19th International Conference, AI in Education 2018 London, United Kingdom, June 27–30, 2018*. Cham, Springer International Publishing, vol. 10947, pp. 154–168.
- Hood, D., Lemaignan, S. and Dillenbourg, P. 2015. When Children Teach a Robot to Write: An Autonomous Teachable Humanoid Which Uses Simulated Handwriting. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction 2015*, 83–90.
- Hopkins, P. and Maccabee, R. 2018. *Chatbots and digital assistants: Getting started in FE and HE*. Bristol, JISC.
- Hume, K.H., 2017. Artificial intelligence is the future—but it's not immune to human bias. Macleans. Disponible (en anglais) à : <https://www.macleans.ca/opinion/artificial-intelligence-is-the-future-but-its-not-immune-to-human-bias> (dernier accès 28 mars 2021).
- IBM, n.d.. *IBM Research–Africa*. Disponible (en anglais) à : <https://www.research.ibm.com/labs/africa> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Infocomm Media Development Authority. 2017. *CODE@ SG Movement: Developing Computational Thinking as a National Capability*. Disponible (en anglais) à : <https://www.imda.gov.sg/for-community/digital-readiness/Computational-Thinking-and-Making> (dernier accès 1er septembre 2019).
- iFLYTEK, n.d.. *AlphaEgg*. Disponible (en anglais) à : <https://ifworlddesignguide.com/entry/203859-alphaegg> (dernier accès 29 décembre 2020).
- ILO (International Labour Organization). 2019. *Work for a Brighter Future: Global Commission on the Future of Work*. Disponible (en anglais) à : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---cabinet/documents/publication/wcms_662410.pdf (dernier accès 26 janvier 2021).
- IRCAI (*International Research Centre on Artificial Intelligence under the auspices of UNESCO*). 2020. Disponible (en anglais) à : <https://ircai.org/> (dernier accès 29 décembre 2020).
- iResearch Global. 2019. 2018 *China's K12 Dual-teacher Classes Report*. Disponible (en anglais) à : http://www.iresearchchina.com/content/details8_51472.html (dernier accès 5 avril 2019).
- ISTE (International Society for Technology in Education). 2018. *Resources on AI in K-12 education*. Disponible (en anglais) à : <https://www.iste.org/learn/AI-in-education> (dernier accès 29 décembre 2020).

- James, E. A., Milenkiewicz, M. T. and Bucknam, A. 2008. *Participatory Action Research for Educational Leadership: Using data-driven decision making to improve schools*. Sage.
- Joshi, D. 2017. Cité dans <https://www.theguardian.com/business/2017/aug/20/robots-are-not-destroying-jobs-but-they-are-hollow-out-the-middle-class> (dernier accès 20 janvier 2021).
- Kelly, S., Olney, A.M., Donnelly, P., Nystrand, M. and D’Mello, S.K. 2018. Automatically measuring question authenticity in real-world classrooms. *Educational Researcher*, 47(7), pp.451-464.
- Kreitmayer, S., Rogers, Y., Yilmaz, E. and Shawe-Taylor, J. 2018. Design in the Wild: *Interfacing the OER Learning Journey*. Presented at the Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference.
- Lee, K. F. 2018. *AI Superpowers: China, Silicon Valley and the New World Order*. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Leelawong, K. and Biswas, G. 2008. Designing learning by teaching agents: The Betty’s Brain system. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 18, No. 3, pp. 181–208.
- Leetaru, K. 2018. Does AI truly learn, and why we need to stop overhyping deep learning. *Forbes*. Disponible (en anglais) à : <https://www.forbes.com/sites/kalevleetaru/2018/12/15/does-ai-truly-learn-and-why-we-need-to-stop-overhyping-deep-learning/> (dernier accès 10 février 2020).
- Leopold, T. A., Ratcheva, V., and Zahidi S. 2018. The Future of Jobs Report 2018. World Economic Forum. Disponible (en anglais) à : http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf (dernier accès 3 février 2021).
- Loizos, C. 2017. AltSchool wants to change how kids learn, but fears have surfaced that it’s failing students. *TechCrunch*. Disponible (en anglais) à : <https://social.techcrunch.com/2017/11/22/altschool-wants-to-change-how-kids-learn-but-fears-that-its-failing-students-are-surfacing> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Lucas, L. 2018. China’s artificial intelligence ambitions hit hurdles. *Financial Times*. Disponible (en anglais) à : <https://www.ft.com/content/8620933a-e0c5-11e8-a6e5-792428919cee> (dernier accès 17 février 2019).
- Luckin, R. 2017. *Towards artificial intelligence-based assessment systems*. *Nat Hum Behav* 1, 0028.
- Luckin, R. and Holmes, W. 2017. A.I. *Is the New T.A. in the Classroom*. Disponible (en anglais) à : <https://howwewgettonext.com/a-i-is-the-new-t-a-in-the-classroom-dedbe5b99e9e#---0-237.wcmt24rx7> (dernier accès 4 janvier 2017).
- Luckin, R., Cukurova, M., Baines, E., Holmes, W. and Mann, M. 2017. *Solved! Making the case for collaborative problem-solving*, London, Nesta. Disponible (en anglais) à : <https://www.nesta.org.uk/report/solved-making-the-case-for-collaborative-problem-solving/> (dernier accès 22 février 2021).
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M. and Forcier, L. B. 2016. *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*. London, Pearson. Disponible (en anglais) à : <https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/global/Files/about-pearson/innovation/open-ideas/Intelligence- Unleashed-v15-Web.pdf> (dernier accès 22 février 2021).
- Lupton, D. and Williamson, B. 2017. The datafied child: The dataveillance of children and implications for their rights’, *New Media & Society*, Vol. 19, No. 5, pp. 780–794.
- Madgavkar, A. et al. 2019. The Future of Women at Work: Transitions in the age of automation. McKinsey Global Institute. Disponible (en anglais) à : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/gender-equality/the-future-of-women-at-work-transitions-in-the-age-of-automation> (dernier accès 3 février 2021).
- Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R. and Sanghvi, S. 2017. Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation. McKinsey Global Institute. Disponible (en anglais) à : <https://www.mckinsey.com/~media/BAB489A30B724BECB5DEDC41E9BB9FAC.ashx> (dernier accès 3 février 2021).
- Marcus, G. and Davis, E. 2019. *Rebooting AI: Building artificial intelligence we can trust*. New York, Ballantine Books Inc.
- Marsh, J.A., Pane, J.F. and Hamilton, L.S. 2006. Making sense of data-driven decision making in education: Evidence from recent RAND research. Disponible (en anglais) à : https://www.rand.org/pubs/occasional_papers/OP170.html (dernier accès 22 février 2021).
- Mavrikis, M. 2015a. *FractionsLab*. Disponible (en anglais) à : <http://fractionslab.lkl.ac.uk/> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Mavrikis, M. 2015b. *ITalk2Learn*. Disponible (en anglais) à : <https://www.italk2learn.com> (dernier accès 29 décembre 2020).
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. and Shannon, C. E. 2006. A proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, Vol. 27, No. 4, pp. 12–14.
- McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., Back, T., Chesus, M., Corrado, G. C., Darzi, A., Etemadi, M., Garcia-Vicente, F., Gilbert, F. J., Halling-Brown, M., Hassabis, D., Jansen, S., Karthikesalingam, A., Kelly, C. J., King, D., Ledsam, J. R., Melnick, D., Mostofi, H., Peng, L., Reicher, J. J., Romera-Paredes, B., Sidebottom, R., Suleyman, M., Tse, D., Young, K. C., Fauw, J. D. and Shetty, S. 2020. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, Vol. 577, No. 7788, pp. 89–94.
- Ministry of Education, Argentina. 2017. *Aprender Conectados*. Disponible (en espagnol) à : <https://www.educ.ar/recursos/150823/presentacion-plan-aprender-conectados> (dernier accès 29 décembre 2020).

- Ministry of Education, People's Republic of China. 2017. *New ICT Curriculum Standards for Senior High School*. Disponible (en anglais) à : http://www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/201801/t20180115_324647.html (dernier accès 29 décembre 2020).
- Ministry of Education, People's Republic of China. 2018. *Innovative Action Plan for Artificial Intelligence in Higher Education Institutions*. Disponible (en anglais) à : http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s7062/201804/t20180410_332722.html (dernier accès 29 décembre 2020).
- Ministry of Education & Malaysia Digital Economy Corporation. 2017. *Digital Maker Playbook*. Disponible (en anglais) à : <https://mdec.my/wp-content/uploads/DMH-Playbook-2021-25Jan2021.pdf> (dernier accès 22 février 2021).
- MIT Technology Review and GE Healthcare. 2019. *How artificial intelligence is making health care more human*. Disponible (en anglais) à : <https://www.technologyreview.com/hub/ai-effect/> (dernier accès 9 janvier 2020).
- Mitchell, M. 2019. *Artificial Intelligence: A guide for thinking humans*. London, Penguin.
- Moravec, H. 1988. *Mind Children: The future of robot and human intelligence*. Boston, MA, Harvard University Press.
- Mulgan, G. 2018. Artificial intelligence and collective intelligence: the emergence of a new field. *AI & Society*, 33, 631–632.
- Narayanan, A. 2019. *How to Recognize AI Snake Oil*. Disponible (en anglais) à : <https://www.cs.princeton.edu/~arvindn/talks/MIT-STS-AI-snakeoil.pdf> (dernier accès 22 février 2021).
- National Science and Technology Council. 2016. The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan. Disponible (en anglais) à : https://www.nitrd.gov/news/national_ai_rd_strategic_plan.aspx (dernier accès 9 janvier 2020).
- Nemorin, S. 2021. Fair-AI. Project Update #6. Preliminary Findings. Disponible (en anglais) à : <https://www.fair-ai.com/project-update-6> (dernier accès 4 février 2021).
- Next. 2000. *Next AI*. Disponible (en anglais) à : <https://www.nextcanada.com/next-ai> (dernier accès 29 décembre 2020).
- O'Neil, C. 2017. *Weapons of Math Destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. London, Penguin.
- Pareto, L. 2009. Teachable Agents that Learn by Observing Game Playing Behavior, in: Craig, S.D., Dicheva, D. (Eds.), *Proceedings of AIED 2009*. Presented at the AIED 2009: 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Brighton, pp. 31–40.
- Pedro, F., Miguel, S. Rivas, A., and Valverde, P. 2019. *Artificial Intelligence in Education: Challenges and opportunities for sustainable development*. Paris, UNESCO. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Pennington, M., 2018. Five tools for detecting Algorithmic Bias in AI. *Technomancers - LegalTech Blog*. Disponible (en anglais) à : <https://www.technomancers.co.uk/2018/10/13/five-tools-for-detecting-algorithmic-bias-in-ai/> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Pobiner, S. and Murphy, T. 2018. Participatory design in the age of artificial intelligence. *Deloitte Insights*. Disponible (en anglais) à : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/cognitive-technologies/participatory-design-artificial-intelligence.html> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Robinson, A. and Hernandez, K. 2018. Quoted in <https://www.edsurge.com/news/2018-11-15-dear-mr-zuckerberg-students-take-summit-learning-protests-directly-to-facebook-chief> (dernier accès 29 mars 2021).
- Rummel, N., Mavrikis, M., Wiedmann, M., Loibl, K., Mazziotti, C., Holmes, W. and Hansen, A. 2016. Combining exploratory learning with structured practice to foster conceptual and procedural fractions knowledge. C. K. Looi, J. Polman, U. Cress, and P. Reimann (eds.), *Transforming Learning, Empowering Learners: The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2016*. Singapore, International Society of the Learning Sciences, Vol. 1, pp. 58–65.
- Russell, S. and Norvig, P. 2016. *Artificial Intelligence: A modern approach*, 3rd edition. Boston, MA, Pearson.
- Säuberlich, F. and Nikolić, D. 2018. AI without machine learning. *Teradata Blog*. Disponible (en anglais) à : <https://www.teradata.com/Blogs/AI-without-machine-learning> (dernier accès 22 décembre 2019).
- Schwab, K. 2017. *The Fourth Industrial Revolution*. New York, NY, Crown Publishing.
- Searle, J. R. 1980. Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 3, No. 3, pp. 417–424.
- Seldon, A. and Abidoye, O. 2018. *The Fourth Education Revolution: Will artificial intelligence liberate or infantilise humanity?* University of Buckingham Press.
- Self, J. A. 1974. Student models in computer-aided instruction. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 6, No. 2, pp. 261–276.
- SmartMusic, n.d.. *SmartMusic*. Disponible (en anglais) à : <https://www.smartmusic.com> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Smith, A. and Anderson, J., 2014. AI, Robotics, and the Future of Jobs. Pew Research Center. Washington, DC. Disponible (en anglais) à : <https://www.pewresearch.org/internet/wp-content/uploads/sites/9/2014/08/Future-of-AI-Robotics-and-Jobs.pdf> (dernier accès 1er février 2021).
- Smith, M. L. and Neupane, S. 2018. Artificial Intelligence and Human Development. Toward a Research Agenda., Ottawa, International Development Research Centre. Disponible (en anglais) à : <https://www.idrc.ca/en/stories/artificial-intelligence-and-human-development> (dernier accès 22 février 2021).

- Stone, P., Brooks, R., Brynjolfsson, E., Calo, R., Etzioni, O., Hager, G., Hirschberg, J., Kalyanakrishnan, S., Kamar, E., Kraus, S., Leyton-Brown, K., Parkes, D., Press, W., Saxenian, A., Shah, J., Tambe, M. and Teller, A. 2016. *Artificial Intelligence and Life in 2030, A 100 Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015 Study Panel*. Stanford, CA, Stanford University. Disponible (en anglais) à : <http://ai100.stanford.edu/2016-report> (dernier accès 1er février 2019).
- Tencent Research Institute. 2017. *Global Artificial Intelligence Talent White Paper*. Disponible (en anglais) à : https://www.tisi.org/Public/Uploads/file/20171201/20171201151555_24517.pdf (dernier accès 22 février 2021).
- The Open University. 2018. *OU Analyse*. Disponible (en anglais) à : <https://analyse.kmi.open.ac.uk> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Trafton, A. 2020. Artificial intelligence yields new antibiotic. MIT News | Massachusetts Institute of Technology. Disponible (en anglais) à : <https://news.mit.edu/2020/artificial-intelligence-identifies-new-antibiotic-0220> (dernier accès 28 décembre 2020).
- Tuomi, I. 2018. The impact of artificial intelligence on learning, teaching, and education. M. Cabrera, R. Vuorikari, and Y. Punie (eds.), *Policies for the future*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, EUR 29442 EN. Disponible (en anglais) à : <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/impact-artificial-intelligence-learning-teaching-and-education> (dernier accès 22 février 2021).
- Turing, A. M. 1950. Computing machinery and intelligence. *Mind*, Vol. 59, No. 236, pp. 433–460.
- UNESCO. 2016. *The World Needs Almost 69 Million New Teachers to Reach the 2030 Education Goals*. UIS Fact Sheet, UNESCO Institute for Statistics. Disponible (en anglais) à : <http://uis.unesco.org/en/file/784/download?token=150HBrZo> (dernier accès 22 février 2021).
- UNESCO. 2018. *ICT Competency Framework for Teachers*. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721> (dernier accès 29 décembre 2020).
- UNESCO. 2019a. *Beijing Consensus on Artificial Intelligence and Education*. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303> (dernier accès 29 décembre 2020).
- UNESCO. 2019b. *Steering AI and Advanced ICTs for Knowledge Societies A Rights, Openness, Access, and Multi-stakeholder Perspective*. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372132> (dernier accès 29 décembre 2020).
- UNESCO. 2020. *Outcome document: first draft of the Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373434> (dernier accès 29 décembre 2020).
- UNESCO and EQUALS Skills Coalition. 2019. *I'd blush if I could: closing gender divides in digital skills through education*. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367416> (dernier accès 29 décembre 2020).
- United Arab Emirates. 2017. *UAE Strategy for Artificial Intelligence*. Disponible (en anglais) à : <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/federal-governments-strategies-and-plans/uae-strategy-for-artificial-intelligence> (dernier accès 22 février 2021).
- United Nations. 2015. *The 2030 Agenda for Sustainable Development: Sustainable Development Goals*. Disponible (en anglais) à : <https://sustainabledevelopment.un.org> (dernier accès 1er février 2019).
- Verbert, K., Duval, E., Klerkx, J., Govaerts, S. and Santos, J. L. 2013. *Learning analytics dashboard applications*. *American Behavioral Scientist*, Vol. 57, No. 10, pp. 1500–1509.
- Villanueva, C. C. 2003. *Education Management Information System (EMIS) and the Formulation of Education for All (EFA) Plan of Action, 2002-2015*. UNESCO Almaty Cluster Office and the Ministry of Education of Tajikistan. Disponible (en anglais) à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000156818> (dernier accès 22 février 2021).
- World Economic Forum. 2018. *Insight Report. The Global Gender Gap Report*. Disponible (en anglais) à : http://www3.weforum.org/docs/WEF_GGGR_2018.pdf (dernier accès 21 juillet 2020).
- World Economic Forum and Boston Consulting Group. 2016. *New Vision for Education: Fostering social and emotional learning through technology*. Geneva, Switzerland. Disponible (en anglais) à : <https://www.weforum.org/reports/new-vision-for-education-fostering-social-and-emotional-learning-through-technology> (dernier accès 22 février 2021).
- Yixue Group. n.d.. *Squirrel AI Learning*. Disponible (en anglais) à : <https://www.technologyreview.com/2019/08/02/131198/china-squirrel-has-started-a-grand-experiment-in-ai-education-it-could-reshape-how-the/> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Zawacki-Richter, O., Marin, V. I., Bond, M. and 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*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–27.
- Zheng, N., Liu, Z., Ren, P., Ma, Y., Chen, S., Yu, S., Xue, J., Chen, B., & Wang, F. 2017. Hybrid-augmented intelligence: Collaboration and cognition. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(2), 153–179.
- Zhixue. n.d.. *Intelligent Learning*. Disponible (en anglais) à : <https://www.zhixue.com/login.html> (dernier accès 29 décembre 2020).
- Zhong, Y. X. 2006. A cognitive approach and AI research. *2006 5th IEEE International Conference on Cognitive Informatics*, Vol. 1, pp. 90-100.

Notes

- 1 Des conseils non techniques plus détaillés à l'intention des décideurs ont été élaborés par le groupe « AI for Peace » : <https://www.aiforpeace.org/library> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 2 Un quintillion correspond à : 1.000.000.000.000.000.000
- 3 La puissance de calcul nécessite de grandes quantités d'énergie, ce qui a des répercussions importantes sur le climat mondial.
- 4 <https://www.gehealthcare.com/article/artificial-intelligence-helps-doctors-with-critical-measurement-during-pregnancy> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 5 <https://ai.googleblog.com/2018/12/improving-effectiveness-of-diabetic.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 6 <https://www.nytimes.com/2019/05/20/health/cancer-artificial-intelligence-ct-scans.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 7 Par exemple, les chercheurs ont superposé l'image d'un panda, animal que l'outil d'IA a correctement reconnu, avec un bruit aléatoire. L'image était encore facilement reconnaissable par un humain comme étant un panda, mais l'outil d'IA l'a identifiée comme représentant un gibbon. De même, le fait de coller de petits morceaux de papier de manière aléatoire sur un panneau routier, tel qu'un panneau « stop », peut conduire les véhicules autonomes à mal l'identifier.
- 8 A seminal book that introduces much of this complexity is Russell and Norvig (2016)
- 9 <https://www.mturk.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 10 <https://www.ft.com/content/a4b6e13e-675e-11e5-97d0-1456a776a4f5> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 11 <https://thispersondoesnotexist.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 12 <https://otter.ai> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 13 <https://www.alibabacloud.com/products/machine-translation> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 14 <https://lens.google.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 15 <https://woebothealth.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 16 <https://www.affectiva.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 17 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frnhum.2019.00076/full> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 18 <https://cs.nyu.edu/faculty/davise/papers/GPT3CompleteTests.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 19 L'introduction de chatbots pour répondre aux questions des clients dans le domaine bancaire suggère que même dans ce domaine, les choses commencent à changer (<https://www.scmp.com/business/companies/article/2128179/hsbcs-amy-and-other-soon-be-released-ai-chatbots-are-about-change> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021). Toutefois, la tristement célèbre technologie Duplex de Google semble désormais moins intelligente qu'il n'y paraissait au départ.
- 20 <https://www.apple.com/uk/siri/> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 21 <https://www.digitaltrends.com/home/what-is-amazons-alexa-and-what-can-it-do/> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 22 <https://dueros.baidu.com/en/index.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 23 <https://www.gearbest.com/blog/tech-news/huawei-releases-ai-smart-speaker-mini-with-xiaoyi-voice-assistant-in-china-6420> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 24 <https://www.jisc.ac.uk/news/chatbot-talks-up-a-storm-for-bolton-college-26-mar-2019>
- 25 <http://genie.deakin.edu.au> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 26 <https://analyse.kmi.open.ac.uk> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 27 <https://www.swiftelearningservices.com/learning-analytics-big-data-in-elearning> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 28 <http://kidaptive.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 29 <https://www.unitime.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 30 <https://moodle.org> (disponible en français, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 31 <https://open.edx.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 32 <https://www.khanacademy.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 33 Par exemple, Bayesian Knowledge Tracing ou Performance Factors Analysis
- 34 Alef : <https://alefeducation.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 35 ALEKS : <https://www.aleks.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 36 Byjus : <https://byjus.com> (site non disponible en Europe)
- 37 Mathia : <https://www.carnegielearning.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 38 Qubena : <https://qubena.com> (en japonais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 39 Riid : <https://riidlabs.ai/> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 40 Squirrel AI : <http://squirrelai.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 41 <https://educationcommission.org> (en anglais, disponible en français à partir de « Sélectionner une langue », dernière visite le 6 juillet 2021)
- 42 Watson Tutor : <https://www.ibm.com/blogs/watson/2018/06/using-ai-to-close-learning-gap/> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 43 Voir <https://theconversation.com/artificial-intelligence-can-now-emulate-human-behaviors-soon-it-will-be-dangerously-good-114136> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021). Et, pour un premier exemple d'IA capable de « rédiger » un devoir scolaire, voir : <https://openai.com/blog/better-language-models/#sample6> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 44 WriteToLearn : <https://www.pearsonassessments.com/professional-assessments/products/programs/write-to-learn.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 45 e-Rater : <https://www.ets.org/erater/about> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 46 Turnitin : <https://www.turnitin.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 47 Smartmusic : <https://www.smartmusic.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 48 AI Teacher : <http://aiteacher.100tal.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 49 « Amazing English » utilise l'IA pour aider les élèves dans la pratique de l'anglais oral. Il fournit également un retour en temps réel et des évaluations pilotées par l'IA. Voir <https://www.prnewswire.com/news-releases/xueersi-online-school-releases-dual-teacher-product-offering-more-english-speaking-time-than-one-on-one-teaching-300626008.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)

- 50 Babbel : <https://www.babbel.com> (disponible en français, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 51 Duolingo : <https://www.duolingo.com> (disponible en français, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 52 <https://elearningindustry.com/telepresence-in-education-future-elearning> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 53 <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 54 <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/pepper> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 55 https://www.youtube.com/watch?v=E_iozVysl5g (vidéo en anglais, sous-titres en français disponibles, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 56 <https://www.blippar.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 57 <https://eonreality.com/about-us/eon-reality-education>, pour un accès direct à la version en français : <https://eonreality.com/eon-reality-education/?lang=fr> (dernière visite le 6 juillet 2021)
- 58 <https://edu.google.com/products/vr-ar> (dernière visite le 6 juillet 2021)
- 59 <http://www.neobear.com> (en chinois, pour l'anglais : <http://www.neobear.com/en> - dernière visite le 06 juillet 2021)
- 60 <http://www.vrmonkey.com.br> (en portugais, pour l'anglais : <http://vrmonkey.com.br/en/> - dernière visite le 06 juillet 2021)
- 61 <https://thirdspacelearning.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 62 <http://slp.bnu.edu.cn> (en chinois, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 63 <https://www.mofaxiao.com/> (en chinois, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 64 <https://tesla-project.eu> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 65 Registres ouverts et distribués, hébergés simultanément par des millions d'ordinateurs sur l'Internet et reliés par cryptographie, qui peuvent partager des données de manière vérifiable, incorruptible et accessible.
- 66 Voir par exemple Ada Lovelace Institute (<https://www.adalovelaceinstitute.org> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021), AI Ethics Initiative (<https://aiethicsinitiative.org> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021), AI Ethics Lab (<http://www.aiethicslab.com>), AI Now (<https://ainowinstitute.org> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021), DeepMind Ethics and Society (<https://deepmind.com/applied/deepmind-ethics-society> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021), ou the Oxford Internet Institute (<https://www.oii.ox.ac.uk/blog/can-we-teach-morality-to-machines-three-perspectives-on-ethics-for-artificial-intelligence> – en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021). Voir aussi Winfield, Alan F. T., and Jirotko, M. 2018. Ethical governance is essential to building trust in robotics and artificial intelligence systems. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 376. Et « Top 9 ethical issues in artificial intelligence ». Disponible (en anglais) à : <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/top-10-ethical-issues-in-artificial-intelligence>, « stop », « Establishing an AI code of ethics will be harder than people think », Disponible (en anglais) à : <https://www.technologyreview.com/s/612318/establishing-an-ai-code-of-ethics-will-be-harder-than-people-think>, and Willson, M. 2018. Raising the ideal child? Algorithms, quantification and prediction. *Media, Culture & Society*, 5.
- 67 <https://www.brainco.tech> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021) ; voir aussi <https://www.independent.co.uk/news/world/asia/china-schools-scan-brains-concentration-headbands-children-brainco-focus-a8728951.html> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 68 Par exemple, the XPrize : <https://learning.xprize.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 69 <https://digitallibrary.io> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021 – une version en français est partiellement disponible)
- 70 <https://www.changedyslexia.org> (en espagnol, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 71 Par exemple, <http://www.voiceit.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021), <https://www.nuance.com> (disponible en français à <https://www.nuance.com/fr-fr/index.html>, dernière visite le 6 juillet 2021), <https://otter.ai> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021) ou <https://kidsense.ai> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 72 <https://blogs.microsoft.com/ai/ai-powered-captioning> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 73 <https://consumer.huawei.com/uk/campaign/storysign/> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 74 Exemple de robot développé pour les enfants présentant des troubles du spectre de l'autisme : Kaspar (Dautenhahn *et al.*, 2009)
- 75 Voir par exemple Bughin *et al.*, 2017; Frey and Osborne, 2017; Frontier Economics, 2018; Leopold *et al.*, 2018; Madgavkar *et al.*, 2019; and Manyika *et al.*, 2017.
- 76 Manpower Group. 2016. Millennial Careers: 2020 Vision-Facts, figures and practical advice from workforce experts. Disponible (en anglais) à : https://www.manpowergroup.com/wps/wcm/connect/660ebf65-144c-489e-975c-9f838294c237/MillennialsPaper1_2020Vision_Io.pdf?MOD=AJPERES
- 77 Voir, par exemple : Tencent Research Institute, 2017 全球 人工智能人才 白皮书)
- 78 Cours conçus pour permettre aux citoyens de se familiariser avec le fonctionnement de l'IA, disponibles (en anglais) à : <https://www.elementsofai.com>, <https://okai.brown.edu> and <http://ai-4-all.org>.
- 79 Ressources conçues pour aider les enseignants à présenter l'IA à leurs élèves, disponibles à <http://teachingaifork12.org> (en anglais, partiellement disponible en français, dernière visite le 6 juillet 2021) et <https://github.com/touretzkyds/ai4k12/wiki> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 80 <http://www.gettingsmart.com/2018/07/coming-this-fall-to-montour-school-district-americas-first-public-school-ai-program> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 81 <https://www.teensinai.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 82 <https://www.skillsfuture.sg> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 83 <https://microcompetencies.com> (par défaut en finnois, disponible en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 84 <https://github.com/touretzkyds/ai4k12/wiki> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 85 <http://teachingaifork12.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 86 <https://www.elementsofai.com> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 87 <https://okai.brown.edu> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 88 <http://ai-4-all.org> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)
- 89 <https://www.oecd.ai/dashboards> (en anglais, dernière visite le 6 juillet 2021)

Contact

UNESCO
7, place de Fontenoy
75352 Paris France

 <https://fr.unesco.org>

 @UNESCOfr

 @UNESCO_fr



unesco

Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

IA et éducation

Guide pour les décideurs politiques

L'intelligence artificielle (IA) est envisagée comme un outil nouveau destiné à accélérer les progrès vers la réalisation de l'ODD4. Les politiques et les stratégies d'utilisation de l'IA dans le champ éducatif sont essentielles pour exploiter tous les avantages de l'IA et atténuer ses risques potentiels. Nourrir la réflexion de décideurs politiques prêts à intégrer l'IA est le point de départ du processus d'élaboration des politiques dans ce domaine.

Cette publication propose des pistes aux décideurs politiques pour comprendre l'IA et répondre aux défis et aux opportunités qu'elle présente dans le champ éducatif. Plus précisément, elle présente les éléments essentiels de l'IA : sa définition, ses techniques, ses technologies, ses pouvoirs et ses limites. Elle décrit également les pratiques émergentes et la balance bénéfices-risques liée à l'utilisation de l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage, pour garantir l'inclusion et l'équité, ainsi que le rôle de l'éducation dans la perspective qu'ont les êtres humains de vivre et travailler avec l'IA.

Le document résume trois approches parmi les réponses politiques à partir des pratiques existantes : l'approche indépendante, l'approche intégrée et l'approche thématique. Il propose également des recommandations et des exemples plus détaillés pour la planification des politiques d'IA et d'éducation, dans la lignée des recommandations formulées dans le Consensus de Beijing sur l'IA dans l'éducation de 2019.

