



unesco



# Enseigner l'intelligence artificielle au primaire et au secondaire

Une cartographie des programmes validés par les gouvernements

## 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 2023 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture,  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2023



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 document acceptent les termes d'utilisation de l'Archive ouverte de libre accès UNESCO (<https://www.unesco.org/fr/open-access/cc-sa>).

Titre original : *K-12 AI curricula: a mapping of government-endorsed AI curricula*

Publié en 2022 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Les désignations employées dans ce document 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 ce document sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation.

Couverture : Marie Moncet  
Crédit : Ryzhi/Shutterstock.com  
Illustrations (pp. 51-53) : Marie Moncet

Coordination : Fengchun Miao  
Traduction : Catherine Alice Dhaussy

La traduction de la publication 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).

Imprimé par l'UNESCO

Imprimé en France



unesco

# Enseigner l'intelligence artificielle au primaire et au secondaire

Une cartographie des programmes validés par les gouvernements

## Remerciements

Ce rapport a été produit par l'unité pour la Technologie et l'Intelligence artificielle dans l'éducation de l'UNESCO, qui fait partie de l'Équipe pour l'avenir de l'apprentissage et l'innovation (Futures of Learning and Innovation).

Fengchun Miao, chef de cette unité, a conceptualisé et mis en œuvre la méthodologie de collecte des données, conçu et géré les enquêtes, et dirigé la rédaction du rapport. Kelly Shiohira, de JET Education Services, a soutenu la collecte de données, analysé les données de l'enquête, réalisé la cartographie du programme d'études et rédigé le rapport.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Juan David Plaza Osses et Iaroslava Kharkova, membres de cette unité, qui ont organisé la gestion des enquêtes et des entretiens avec les experts désignés par les États membres, ainsi que nos collègues Glen Hertelendy et Samuel Grimonprez, qui ont coordonné la production du rapport.

L'UNESCO exprime sa reconnaissance envers les représentants gouvernementaux suivants pour leur contribution et le temps qu'ils ont consacré aux entretiens afin de fournir des informations plus détaillées sur les programmes d'AI de leurs pays respectifs : Noha Alomari, spécialiste de l'éducation aux TIC du département des programmes et des ressources d'apprentissage du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du Qatar, Peter Bauer, chef du département d'Informatique et de Technologie des médias à la HTBLA de Leonding en Autriche, Marie-Thérèse Delhoune, inspectrice de l'Enseignement secondaire du service d'inspection générale de la Fédération Wallonie-Bruxelles en Belgique, Helder Pais, chef du département du Développement des programmes à la direction générale de l'Éducation du ministère de l'Éducation du Portugal, et Zhang Xiong, professeur à l'école d'Informatique et d'Ingénierie de l'université Beihang en Chine.

Le rapport a également bénéficié d'informations recueillies lors d'entretiens avec les personnalités suivantes : Shalini Kapoor, Bettina Culter, Anne Forbes Joyeeta Das et Lucy Qu (IBM), Anshul Sonak et Shweta Khurana (Intel), Ki-Sang Song de l'université nationale coréenne de l'Éducation (République de Corée), Alexa Joyce et Simran Jha (Microsoft), Irene Lee et Cynthia Breazeal (MIT), Muna Al Ansari (Koweït), Laila Mohammend Al Atawy (Jordanie), Mohammed Jumah F. Al-Enazi (Arabie saoudite), Stefan Badza (Serbie), Kyungsuk Chang (République de Corée), Saffin Mathew (Inde), Marília Neres (Portugal), Ashutosh Raina (Inde), Ralitsa Voynova (République de Bulgarie), Isabelle Sieh (Allemagne), Paula Thompson (Canada), Artashes Torosyan (Arménie), Ralitsa Voynova (République de Bulgarie) et Stephan Waba (Autriche).

Nous remercions Patrick Molokwane de JET Education Services pour son aide à la recherche documentaire.

Nous exprimons également notre gratitude à l'égard de Jenny Webster pour la révision et la correction du texte original, ainsi qu'à Marie Moncet pour la conception de la mise en page.

Enfin, l'UNESCO souhaite remercier le TAL Education Group pour le soutien financier apporté au lancement du projet sur l'IA et l'avenir de l'apprentissage, grâce auquel ce rapport a également pu être réalisé.

# Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	<b>2</b>
<b>Objectif et cadre du rapport</b> .....	<b>6</b>
Portée de la cartographie.....	6
<b>Introduction</b> .....	<b>7</b>
Introduction aux termes et aux technologies de l'IA .....	8
Intelligence artificielle.....	9
Techniques d'IA .....	9
Technologies d'IA.....	10
Éthique de l'IA .....	10
Connaissance de l'IA .....	11
Concepts pédagogiques et terminologie .....	12
Cadres de référence existants pour les programmes de l'IA .....	13
Connaissance de l'IA : compétences et réflexions en matière de conception.....	13
AI4K12 : Cinq grandes idées et recommandations pour le programme de l'IA de la maternelle à la 12 <sup>e</sup> année.....	15
Le cadre éducatif de l'apprentissage automatique .....	17
<b>Méthodologie</b> .....	<b>19</b>
Collecte des données.....	19
Critères de sélection des programmes de l'IA approuvés par le gouvernement.....	19
Liste des programmes d'enseignement de l'IA validés par les gouvernements .....	20
Limites de l'enquête .....	22
<b>Principaux résultats de l'analyse des programmes d'IA validés par les gouvernements</b> .....	<b>23</b>
Élaboration et validation des programmes .....	23
Mécanismes d'élaboration et d'approbation des programmes d'IA.....	23
Vision et motivations pour le développement de programmes en IA .....	24
Essais pilotes et évaluation des programmes d'IA.....	25
Exemple. Fondements et principes du développement du programme scolaire au Qatar .....	25
Intégration et gestion des programmes scolaires.....	26
Répartition des heures de cours.....	28
Conditions essentielles pour soutenir les programmes d'IA.....	29
Exemple. L'introduction de l'IA par le CBSE en Inde .....	30
Contenu du programme d'AI .....	32
Principales catégories de contenu du programme concernant l'IA .....	32
Répartition du temps pour les catégories du programme d'AI.....	33
Traitement des catégories du programme d'IA .....	33
Exemple. Contenu du programme relatif à l'IA en Autriche.....	40
Résultats d'apprentissage des programmes d'IA .....	41
Méthodologie d'analyse des résultats d'apprentissage .....	41
Cadre pour la classification des résultats d'apprentissage .....	41
Cartographie des résultats d'apprentissage par catégories d'IA.....	43
Exemple. Progression des résultats d'apprentissage de l'IA en République de Corée.....	50

Mise en œuvre du curriculum.....	52
Formation et soutien des enseignants.....	52
Outils et environnements d'apprentissage .....	52
Propositions de pédagogies .....	54
Exemple. Mise en œuvre, en Chine, du programme d'enseignement des sciences et technologies de l'information dans les écoles secondaires supérieures.....	56
<b>■ Principales conclusions et recommandations .....</b>	<b>57</b>
Élaboration et validation des programmes scolaires .....	57
Intégration et gestion des programmes d'études.....	58
Contenu du programme et résultats d'apprentissage.....	58
Mise en œuvre du programme d'études .....	59
<b>■ Commentaire final.....</b>	<b>61</b>
<b>Références.....</b>	<b>62</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>65</b>
Enquête envoyée aux représentants des États membres.....	65
Cartographie par l'UNESCO des programmes d'enseignement de l'IA validés par les gouvernements .....	65
Informations générales.....	65
Cursus IA 1 .....	65

## Liste des figures

Figure 1.	Nombre de programmes d'IA par type d'intégration .....	27
Figure 2.	Programmes d'AI : volumes horaires par année .....	28
Figure 3.	Pourcentage de programmes selon le niveau scolaire.....	29
Figure 4.	Soutien à la mise en œuvre.....	30
Figure 5.	Approche thématique de l'intégration interdisciplinaire de l'IA dans le programme .....	31
Figure 6.	Acteurs et procédures de mise en œuvre de l'IA .....	32
Figure 7.	Boîte à moustaches des domaines cibles en fonction des volumes horaires en pourcentage .....	34
Figure 8.	Répartition du temps de cours par thème .....	35
Figure 9.	Pourcentage de temps attribué aux bases de l'IA .....	36
Figure 10.	Pourcentage consacré à l'éthique et l'impact social .....	37
Figure 11.	Pourcentage consacré à la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA .....	39
Figure 12.	Pourcentage de répartition par thème.....	41
Figure 13.	Normes en vigueur dans les programmes d'études, République de Corée.....	51
Figure 14.	Profil moyen d'implication pédagogique.....	55

---

**Liste des tableaux**

Tableau 1.	IA : cadre de compétences de la littératie .....	13
Tableau 2.	« Grande idée 1. Perception » : composantes conceptuelles et résultats d'apprentissage .....	16
Tableau 3.	Le cadre éducatif de l'apprentissage machine (apprentissage automatique) : résultats d'apprentissage et définitions .....	18
Tableau 4.	Cursus K-12 : programmes scolaires de l'IA validés et mis en œuvre par les gouvernements.....	20
Tableau 5.	Cursus K-12 : programmes gouvernementaux d'enseignement de l'IA en cours d'élaboration .....	21
Tableau 6.	Programmes d'études non gouvernementaux sur l'IA inclus dans l'étude en tant que points de référence.....	21
Tableau 7.	Conditions essentielles pour développer les programmes d'IA.....	29
Tableau 8.	Domaines du curriculum d'AI.....	32
Tableau 9.	Présence dans le programme scolaire par thème .....	34
Tableau 10.	La catégorie des fondements de l'IA par domaine thématique : implication dans le programme d'études.....	36
Tableau 11.	Volume horaire dans le programme pour la catégorie « éthique et impact social » par domaine thématique .....	38
Tableau 12.	Volume horaire dans le programme pour la catégorie « comprendre, utiliser et développer l'IA », par domaine thématique.....	40
Tableau 13.	Cartographie des résultats de la connaissance .....	43
Tableau 14.	Cartographie des résultats en termes de compétences.....	46
Tableau 15.	Cartographie des résultats relatifs aux valeurs et aux attitudes.....	49
Tableau 16.	Propositions d'approches pédagogiques et de spécifications.....	54

## Objectif et cadre du rapport

La technologie de l'IA constitue un sujet nouveau pour les établissements primaires et secondaires du monde entier (correspondant aux niveaux de la première à la douzième année, d'où le terme K12, couramment utilisé en anglais) : les gouvernements, les écoles et les enseignants manquent donc de connaissances historiques sur lesquelles s'appuyer pour définir les compétences en matière d'IA et concevoir des programmes dans ce domaine. Cet exercice de cartographie analyse les programmes d'IA existants en faisant porter l'accent sur le contenu du programme et les résultats ; il définit les mécanismes d'élaboration et de validation, l'adéquation du programme, la préparation des outils d'apprentissage et des environnements requis, les pédagogies proposées et la formation des enseignants. L'analyse permet de dégager des réflexions essentielles pour guider la planification future de politiques adaptées, la conception de programmes scolaires nationaux ou institutionnels, ainsi que les stratégies de mise en œuvre pour le développement des compétences en IA.

### Portée de la cartographie

L'UNESCO étudie, dans une perspective mondiale, les pratiques actuelles de développement et de mise en œuvre des programmes d'IA dans l'enseignement primaire et secondaire. Dans cette étude, l'expression « programmes de l'IA » et ses variantes fait référence à des curriculums structurés portant sur des sujets liés à l'IA qui : 1) sont approuvés, validés, par les gouvernements nationaux ou régionaux ; 2) s'adressent aux apprenants de l'enseignement scolaire général, de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. Cette étude ne couvre pas les programmes d'IA conçus pour les établissements spécialisés d'enseignement et de formation techniques et professionnels (EFTP), les établissements d'enseignement supérieur ou les contextes d'apprentissage informel.

# Introduction

Une grande variété de technologies relevant de l'IA sont actuellement utilisées à l'échelle internationale, et l'on reconnaît à l'IA de plus en plus d'importance dans les contextes professionnels et en termes de conséquences sur la vie quotidienne. Il existe un « large consensus » selon lequel l'IA « influencera les professions à tous les niveaux de rémunération et d'éducation » (Royal Society UK, 2018, cité dans le Microsoft Computer Science Framework, 2021). Une analyse réalisée en 2018 par McKinsey conclut que d'ici 2030, 70 % des entreprises mondiales devront adopter au moins un type de technologie liée à l'IA. Toutefois, l'intégration de l'IA creusera les écarts existants entre les pays (Bughin et al., 2018a). Actuellement, aux États-Unis, les machines exécutent jusqu'à 30 % des tâches de la main-d'œuvre (Kelly, 2020). En outre, on prévoit des inadéquations croissantes entre les compétences enseignées dans les écoles et les établissements d'EFTP et les compétences requises par le marché du travail, en lien avec des taux plus élevés d'automatisation et d'intégration de l'IA (Bughin et al., 2018b). La pandémie de COVID-19 n'a fait qu'accélérer le rythme de l'automatisation, ce qui pourrait amener jusqu'à 1 travailleur sur 161 à devoir se recycler d'ici 2030 et à une nouvelle diminution des emplois moyennement et faiblement qualifiés (Lund et al., 2021).

Les effets de la technologie de l'IA ne se limitent pas à la main-d'œuvre. L'IA a de profondes répercussions sur la culture, la diversité, l'éducation, les connaissances scientifiques, la communication et l'information, notamment dans la mesure où celles-ci concernent la paix, la durabilité, l'égalité des sexes et les défis spécifiques de l'Afrique (COMEST, 2019). Tous ces domaines présentent un intérêt crucial pour les organismes internationaux et nationaux concernés par le développement et les politiques. Sciemment ou non, les citoyens multiplient leurs interactions avec l'IA. L'IA a été déployée pour conduire des voitures, automatiser les services à la clientèle, identifier des cibles pour les bombes militaires, filtrer les candidats aux points d'entrée sur les territoires nationaux, diriger les efforts de maintien de l'ordre, statuer sur les notes, sélectionner les entrants à l'université et les bénéficiaires de bourses d'études, ou encore prendre des décisions concernant ses finances personnelles (Engler, 2021 ; Frantzman et Atherton, 2019 ; Shiohira, 2021).

Les orientations politiques internationales suggèrent que des domaines communs devraient être visés via des approches contextualisées variées, par exemple : la promotion de l'utilisation inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation ; l'exploitation de l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage ; la promotion du développement des compétences pour les emplois et la vie quotidienne avec l'IA ; la sauvegarde des données sur l'éducation afin que leur utilisation soit éthique, transparente et vérifiable (UNESCO, 2019a). Cependant, à l'heure actuelle, relativement peu d'initiatives se concentrent sur l'IA dans les contextes scolaires, ce qui a conduit à une recommandation récente selon laquelle les décideurs politiques devraient « fournir un environnement politique favorable et des espaces curriculaires pour explorer l'IA » (Miao et al., 2021, p. 34).

En tant qu'acteur majeur de la communauté internationale et du débat sur la technologie dans l'éducation, l'UNESCO a piloté un certain nombre de projets importants dans le domaine de l'IA dans et pour l'éducation.

En 2015, la *Déclaration de Qingdao* (UNESCO, 2015) comprenait un point sur l'exploration du potentiel des données massives (*big data*) pour améliorer l'apprentissage en ligne, éclairer la compréhension du comportement des apprenants et améliorer la conception et la prestation des cours en ligne. La déclaration proposait : « les gouvernements doivent élaborer des politiques et des systèmes qui garantissent une utilisation sûre, appropriée et éthique des données, notamment le respect de la vie privée et de la confidentialité des données personnelles identifiables des étudiants ».

- Le *Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation* (UNESCO, 2019b) comprend une série de recommandations et de considérations relatives à l'IA dans l'éducation. Dans l'esprit qui a mené à faire porter fortement l'accent sur l'équité et l'inclusion, l'une des recommandations du consensus suggère de s'assurer que l'IA favorise une éducation de qualité et des possibilités d'apprentissage pour tous, indépendamment du sexe, du handicap, du statut social ou économique, de l'origine ethnique ou culturelle, ou encore de la situation géographique.
- Dans le cadre de la *Stratégie de l'UNESCO sur l'innovation technologique dans l'éducation (2022-2025)*, en plus de mettre en place un observatoire

1 Huit pays inclus dans cette analyse, à savoir la Chine, la France, l'Allemagne, l'Inde, le Japon, l'Espagne, le Royaume-Uni et les États-Unis, représentent près de la moitié de la population mondiale et 62 % du PIB.

et de veiller au renforcement des capacités, l'Organisation cherche à élaborer des instruments standard et des outils normatifs, notamment des lignes directrices et des cadres, « visant à renforcer les compétences numériques (compréhension, aptitudes et valeurs) des enseignants et des apprenants et à garantir une utilisation des technologies fondée sur les droits de l'Homme, sûre, éthique et efficace dans une perspective d'apprentissage tout au long de la vie » (UNESCO, 2021a). Les domaines d'action transversaux concernent l'élargissement de l'accès à l'éducation, en particulier pour les groupes et individus marginalisés, ainsi que la qualité de l'enseignement et de l'apprentissage.

- L'UNESCO a publié *IA et éducation : guide pour les décideurs politiques* en avril 2021 dans le but de favoriser la préparation des responsables politiques à l'IA (Miao et al., 2021). Ce rapport fournit à ses lecteurs-cibles une orientation sur l'IA, y compris les possibilités, les risques, les définitions-clefs, les tendances de l'IA, les implications pour l'enseignement et l'apprentissage, et répond à la question de savoir comment l'éducation peut préparer les étudiants à l'ère de l'IA. Il se termine par des recommandations pour la programmation des politiques locales.
- En octobre 2021, l'UNESCO a lancé « L'Intelligence artificielle et les futurs de l'apprentissage<sup>2</sup> » ; ce projet comporte trois volets indépendants mais complémentaires : (1) un rapport proposant des recommandations sur les futurs de l'apprentissage basés sur l'IA ; (2) des conseils sur les principes éthiques pour l'utilisation de l'IA dans l'éducation ; (3) un cadre d'orientation sur les compétences en IA pour les élèves des écoles.

De nos jours, les réalités quotidiennes liées aux utilisations de l'IA et aux répercussions dans le monde professionnel suscitent un sentiment d'urgence : il s'agit de bâtir un consensus international sur ses rôles jugés acceptables dans la société, sur la dimension humaniste attendue dans son développement et son déploiement, mais aussi sur la façon d'armer les enfants avec des compétences dont ils auront besoin pour évoluer avec succès dans le monde actuel – non pas celui à venir, mais bien l'actuel. Le *Consensus de Beijing* sur l'intelligence artificielle et l'éducation (UNESCO, 2019b) appelle tous les États membres à « 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. » Le Consensus défend une « approche humaniste » qui vise 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. » Pour soutenir la mise en œuvre du Consensus de Beijing, l'UNESCO a accueilli, les 7 et 8 décembre 2020, le Forum international sur l'IA et les futurs de l'éducation : Développer des compétences pour l'ère de l'IA. Les participants à cet événement ont examiné les compétences dont ont besoin les citoyens :

“ Les citoyens du monde entier doivent comprendre quel pourrait être l'impact de l'IA, ce que l'IA peut faire et ce qu'elle ne peut pas faire, quand l'IA est utile et quand son utilisation doit être mise en question, et quelle pourrait être la gouvernance de l'IA pour le bien public. Source : Miao et Holmes (2021, p. 6).

Le Forum a souligné le caractère primordial des compétences axées sur l'humain, telles que la bonne compréhension de l'éthique de l'IA et de ses retombées sociétales, ainsi que des compétences axées sur la technologie, telles que les compétences et les connaissances nécessaires pour utiliser, interpréter et développer l'IA. Des recommandations ont été formulées pour des approches spécifiques et interdisciplinaires de l'IA dans l'éducation, notamment via l'appui aux programmes d'études existants en matière de TIC et l'intégration des analyses des possibilités et des impacts de l'IA dans les cours de sciences humaines, de sciences et d'art (Miao et Holmes, 2021).

Ce rapport contribue à la compréhension de l'IA dans l'enseignement de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année, en particulier au regard de la manière dont actuellement les élèves sont préparés à la vie personnelle et professionnelle à l'ère de l'IA. Il fournit, pour ce faire, une analyse du paysage mondial des programmes d'IA approuvés par les gouvernements pour l'enseignement primaire, ainsi que de leur conception, de leur contenu et de leur mise en œuvre. Ce rapport a pour but de fournir des informations sur la création d'outils et de cadres pertinents, en vue de permettre l'élaboration d'un cadre directeur sur les compétences en IA. Il constitue également une partie du travail prévu dans le cadre de la *Stratégie de l'UNESCO sur l'innovation technologique dans l'éducation* (2022-2025) (UNESCO, 2021a).

## Introduction aux termes et aux technologies de l'IA

Ce rapport fait appel à une série de concepts et de termes issus de domaines spécialisés dans l'IA et dans l'éducation. Malgré l'omniprésence de l'IA dans des domaines tels que le marketing, la finance et, de plus

2 Voir <https://events.unesco.org/event?id=2883602288&lang=1036>

en plus, l'éducation, certains responsables ou certains professionnels peuvent manquer de familiarité avec certains des termes utilisés dans cette analyse. De même, il n'est pas garanti que tous les usagers et décideurs de l'IA soient au fait des principales tendances en matière de pédagogie mentionnées dans les programmes d'études. C'est pourquoi cette section fournit une brève introduction à certaines technologies, certains termes et certaines pédagogies dont il sera question dans ce texte, afin de donner aux lecteurs une compréhension générale de chaque concept principal. Cinq termes du domaine de l'IA sont d'abord expliqués tour à tour, puis la section sur les concepts pédagogiques présente plusieurs concepts, dont l'« évaluation basée sur les compétences », le « constructivisme », le « constructionnisme » et la « pensée créatrice ».

La quasi-totalité de ces concepts et termes ont suscité des débats académiques ; ils ont leurs partisans et leurs détracteurs, mais l'objectif de ce rapport n'est pas d'approfondir les points de vue contradictoires. Ce qui est proposé ici ne relève pas de l'analyse exhaustive.

## Intelligence artificielle

Le terme « intelligence artificielle » a été inventé en 1956 lorsque Marvin Minsky et John McCarthy ont organisé le projet de recherche estival de Dartmouth sur l'intelligence artificielle (COMEST, 2019 ; Haenlein et Kaplan, 2019). L'IA a gagné en popularité en raison de l'essor des données massives (*big data*) et de la croissance exponentielle de la puissance de calcul (Haenlein et Kaplan, 2019). La définition de l'IA s'est élargie et a évolué au fil du temps (Miao et al., 2021) ; elle fait désormais référence aux machines qui imitent certaines caractéristiques de l'intelligence humaine telles que la perception, l'apprentissage, le raisonnement, la résolution de problèmes, l'interaction linguistique et le travail créatif (COMEST, 2019).

L'analyse présentée dans ce rapport divise l'IA en deux catégories : les « techniques d'IA » et les « technologies d'IA ». La première englobe les méthodes utilisées pour construire différents types d'IA, tandis que la seconde fait référence aux domaines d'étude et aux produits créés par ces techniques.

## Techniques d'IA

Les techniques d'IA incluses dans les programmes d'études qui sont analysés dans ce rapport sont brièvement décrites ci-dessous<sup>3</sup>:

- L'**IA classique** est basée sur des règles et utilise des instructions conditionnelles de type « si-alors » pour

générer des résultats. Le raisonnement basé sur des règles peut être utilisé dans des technologies telles que les *chatbots* (par exemple : « Si l'entrée contient les mots 'quoi', 'prix' et '?', alors renvoyer le montant du prix du produit identifié »).

- L'**apprentissage machine** (AM, en anglais *machine learning, ML*) désigne tout type de programme informatique capable d'« apprendre » sans programmation explicite, via l'accès à de grandes quantités de données et leur traitement. Ce que l'on entend par « apprendre », c'est que le programme peut produire de nouveaux résultats sans qu'on lui « dise » explicitement ce qu'ils doivent être, comme c'est le cas en IA classique. La suite de cette liste comprend quelques-unes des nombreuses sous-catégories de l'AM.
- L'**apprentissage supervisé** est un type d'AM qui est formé sur des données connues et étiquetées pour produire des résultats. Par exemple, un **classificateur** est un algorithme conçu pour classer des éléments dans des catégories (par exemple, « spam » ou « non spam ») à l'aide de données étiquetées. Les **arbres de décision** sont un type d'algorithme de classification dans lequel une série de « nœuds » (points de décision, représentés par des questions) mène à des « branches », où les résultats des différentes options de réponse sont séparés. Par exemple, dans le programme DAILY du MIT, qui est abordé en détail plus loin dans ce rapport, les élèves créent un arbre de décision pour classer différents types de pâtes. Un nœud peut poser la question suivante : « Mesurent-elles plus de 10 cm de long ? », avec les spaghettis, les linguines et autres pâtes longues sur une branche vers le nœud suivant et les macaronis, les farfalles et autres pâtes courtes sur une autre branche.
- Dans l'**apprentissage non supervisé**, l'apprentissage automatique génère des résultats basés sur le regroupement des similarités dans des ensembles de données inconnues et non étiquetées.
- L'**apprentissage par renforcement** est un type d'apprentissage automatique continu qui est entraîné dans le but de maximiser une récompense (par exemple, obtenir le montant d'argent maximum sur un investissement).
- Les **réseaux neuronaux** sont des algorithmes d'AM qui s'inspirent du cerveau des animaux. Ils sont constitués de couches d'entrée, de couches cachées et de couches de sortie. Dans les couches cachées, les données sont traitées dans les nœuds en fonction de leur valeur et du poids qui leur est attribué, et seules les données qui passent un seuil donné sont autorisées à passer. Les données ainsi filtrées passent par une ou plusieurs couches cachées pour atteindre la couche de sortie. L'« apprentissage » dans les réseaux neuronaux

<sup>3</sup> Les explications fournies ici sont tirées de Miao et al. (2021) et complétées par des exemples et des définitions tirés des programmes d'études inclus dans ce rapport, en particulier le MIT DAILY Curriculum, le AI4K12 Curriculum Framework et le Youth Challenge d'IBM.

se fait par « rétropropagation » : un algorithme cherche à minimiser l'erreur en ajustant les poids dans la ou les couches cachées des différents nœuds en fonction de l'exactitude et de l'influence des entrées de chaque nœud.

- **L'apprentissage profond** (AP, en anglais *Deep Learning, DL*) fait référence à des réseaux neuronaux comportant plusieurs couches cachées. Alors que l'AM s'appuie généralement sur des données structurées (sélectionnées, étiquetées et organisées en tableaux, par exemple), l'AP peut traiter des données non structurées telles que du texte et des images. Les réseaux neuronaux et/ou l'apprentissage profond sont utilisés dans la reconnaissance des images et de la parole.
- Les **réseaux antagonistes génératifs** (RAG, en anglais *general adversarial networks, GAN*) sont un type d'apprentissage automatique conçu pour générer de nouveaux contenus, par exemple des images<sup>4</sup>. Un RAG comprend deux réseaux neuronaux profonds : l'un d'eux génère du contenu et l'autre l'évalue. Les RAG ne fonctionnent pas particulièrement bien avec le texte – du moins pour l'instant.

## Technologies d'IA

Les technologies d'IA incluses dans les curriculums analysés dans ce rapport sont brièvement décrites ci-dessous.

- Les **chatbots** sont des programmes informatiques conçus pour simuler une conversation orale et/ou écrite<sup>5</sup>.
- La **vision par ordinateur** (en anglais *computer vision, CV*) est le domaine de l'IA qui s'occupe de déduire et d'utiliser des informations recueillies à partir d'images et de données visuelles. La vision par ordinateur est à l'origine de produits tels que les bobines de surbrillance automatiques, les voitures à conduite autonome et les outils de contrôle qualité (pour l'identification des défauts) dans l'industrie manufacturière<sup>6</sup>.
- Le **traitement automatique du langage naturel** (en anglais *natural language processing, NLP*) repose sur la combinaison de l'informatique et de la linguistique informatique, domaine interdisciplinaire d'étude du langage humain qui vise à créer des modèles de la parole ou du texte humain basés sur des règles et pouvant être utilisés par les ordinateurs. Cela permet aux ordinateurs de traiter le langage humain et d'y répondre de manière adéquate. Cette technologie est à l'origine de la traduction automatique d'une langue à une autre et des technologies telles que la navigation

par satellite ou les assistants numériques qui peuvent répondre à des commandes verbales.

- Les **capteurs** sont des dispositifs ou des systèmes qui mesurent des propriétés physiques telles que la température ou la pression et transmettent ces données à d'autres éléments électroniques (comme un processeur d'ordinateur). Les capteurs constituent l'une des méthodes de collecte des données utilisées dans l'IA. Ils représentent un élément fondamental de l'Internet des objets (en anglais *Internet of Things, IoT*), ces systèmes dans lesquels des actions sont entreprises sans intervention humaine sur la base des entrées provenant de différents capteurs (Mahdavejad et al., 2018). Un exemple simple serait un système d'irrigation de type *IoT* qui recueille des informations provenant de capteurs intégrés dans le sol et active en réponse un dispositif d'arrosage adapté<sup>7</sup>.

## Éthique de l'IA

On l'a vu, l'IA possède un large éventail d'applications et de nombreux avantages démontrables. Par exemple, l'IA a fourni des informations importantes et émis des alertes dès le début de la pandémie de COVID-19. Cependant, l'utilisation de l'IA soulève également un certain nombre de questions éthiques. Des biais peuvent être introduits dans l'IA via les ensembles de données utilisés et les choix des concepteurs, ce qui peut entraîner des phénomènes de brouillage. En raison d'éléments tels que les couches cachées de certains types d'IA, les processus et les facteurs de la prise de décision de l'IA ne peuvent être vus, vérifiés ou redressés par des humains, ce qui soulève des questions en termes d'explicabilité et de transparence. Parmi les autres défis à relever, citons l'équilibre entre l'utilisation des données personnelles et le droit de chaque individu à la vie privée, la sécurité des données et l'exposition potentielle à la cybercriminalité, ainsi que le renforcement des croyances établies par les algorithmes d'IA en fonction des intérêts de l'utilisateur, ce qui peut limiter l'accès des personnes à l'ensemble des idées et des informations et, selon certains, porter atteinte au droit individuel à la liberté d'expression (UNDESA et al., 2021).

La *Recommandation sur l'éthique de l'intelligence artificielle* (UNESCO, 2023) fait porter l'accent sur certains des principaux défis éthiques de l'IA, notant les conséquences sur la prise de décision, l'emploi et le travail, les interactions sociales, les soins de santé, l'éducation, les médias, la liberté d'expression, l'accès à l'information, la vie privée, la démocratie, la discrimination, l'armement. La recommandation propose

4 Par exemple, la technologie RAG peut être utilisée pour générer des images de personnes qui n'existent pas (voir <https://www.thispersondoesnotexist.com>).

5 Voir par exemple <https://towardsdatascience.com/building-a-chatbot-with-rasa-3f03ecc5b324>

6 Pour plus d'informations, voir <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>

7 Voir par exemple <https://www.digiteum.com/iot-solutions-agricultural-irrigation-system>

que l'IA soit contrôlée par des tiers afin de s'assurer qu'elle est digne de confiance et qu'elle œuvre pour le bien de l'humanité, des individus, des sociétés, de l'environnement naturel et de ses écosystèmes. Elle énonce dix principes pour une IA éthique.

1. **Principes de proportionnalité et d'innocuité** : l'IA doit avoir des objectifs et des buts légitimes, adaptés au contexte et fondés sur des bases scientifiques rigoureuses.
2. **Principes de sûreté et sécurité** : les IA ne doivent pas causer de dommages et doivent se protéger contre les risques liés à la sécurité tout au long de leur cycle de vie.
3. **Principes d'équité et non-discrimination** : les systèmes d'IA doivent éviter tout préjugé ; l'accès à l'IA et à ses bienfaits doit être partagé à l'échelle nationale, locale et internationale, et être distribué de manière égale sans préférence pour « le sexe, le genre, la langue, la religion, les opinions politiques ou autres, l'origine nationale, ethnique, indigène ou sociale, l'orientation sexuelle, l'identité de genre, la propriété, la naissance, le handicap, l'âge ou tout autre statut ».
4. **Principe de durabilité** : l'impact social, culturel, économique et environnemental des technologies d'IA devrait être évalué en permanence dans le cadre de l'évolution des objectifs.
5. **Principes de droit à la vie privée et protection des données** : les données pour l'IA sont collectées, utilisées, partagées, archivées et supprimées de manière à protéger l'intégrité des personnes concernées ; des « objectifs légitimes » et une « base juridique solide » sont mis en place pour le traitement des données personnelles.
6. **Principes de surveillance et décision humaines** : les humains ou d'autres entités juridiques assument la responsabilité de l'IA sur le plan éthique et juridique.
7. **Principes de transparence et explicabilité** : les personnes devraient savoir qu'il y a des décisions basées sur des algorithmes d'IA, et que les individus et les entités sociales devraient pouvoir demander et recevoir des explications sur ces décisions, y compris des informations sur les facteurs et les tendances de décision. L'explicabilité est détaillée plus loin ; le principe en est : « les résultats, ainsi que les sous-processus conduisant aux résultats, devraient être compréhensibles et traçables, en fonction du contexte d'utilisation ».
8. **Principes de responsabilité et redevabilité** : renforcent le principe de la vigilance et de la volonté humaines et suggèrent que des mécanismes d'évaluation d'impact, de surveillance et de diligence

soient mis en place pour garantir la responsabilité des systèmes d'IA. L'*auditabilité*<sup>8</sup> doit être assurée.

9. **Principes de sensibilisation et éducation** : font référence aux responsabilités des gouvernements, mais aussi du secteur public, des universités et de la société civile, relatives à la promotion d'une éducation ouverte et accessible et d'autres initiatives axées sur les intersections entre l'IA et les droits de l'Homme, pour que « tous les membres de la société puissent prendre des décisions éclairées concernant leur utilisation des systèmes d'IA et soient protégés contre toute influence indue ».
10. **Principes de gouvernance et collaboration multipartites et adaptatives** : les États devraient réglementer les données générées sur leur territoire et y transitant ; les parties prenantes d'un large éventail d'organisations civiles et des secteurs public et privé devraient être engagées tout au long du cycle de vie des IA ; des mesures doivent être adoptées pour permettre une intervention significative des groupes, communautés et individus marginalisés.

## Connaissance de l'IA

Le rapport de synthèse du Forum international de l'UNESCO sur l'IA et l'avenir de l'éducation, avec pour thème « Développer des compétences pour l'ère de l'IA » (Miao et Holmes, 2020), indique que les citoyens du monde entier ont besoin de comprendre quel pourrait être l'impact de l'IA, ce que l'IA peut et ne peut pas faire, quand l'IA est utile, quand son utilisation devrait être mise en question et comment elle pourrait être orientée pour servir le bien public. Pour ce faire, chacun doit atteindre un certain niveau de compétence en matière d'IA, notamment en termes de connaissances, de compréhension, d'aptitudes et d'orientation des valeurs. Ces éléments, vus dans leur ensemble, pourraient être appelés « culture de l'IA ». Ce qu'on appelle la « littératie » en matière d'IA comprend à la fois la littératie relativement aux données, ou la capacité de comprendre comment l'IA collecte, nettoie, manipule et analyse les données, et la littératie concernant les algorithmes, ou la capacité de comprendre comment les algorithmes d'IA trouvent des modèles et des connexions dans les données, qui peuvent être utilisés pour les interactions homme-machine. Il s'agit d'une tentative d'encadrer la portée, la structure et les principales catégories du domaine émergent de l'alphabétisation en IA. Ce terme est utilisé dans le cadre de l'étude présentée dans ce rapport.

<sup>8</sup> Bien que l'auditabilité ne soit pas explicitement définie dans la recommandation, ce terme fait référence à la capacité des tiers à accéder aux algorithmes, à les étudier, les analyser et les critiquer (Jobin et al., 2019).

## Concepts pédagogiques et terminologie

L'éducation basée sur les compétences (EBC), ou approche par compétences, est un modèle souvent appliqué dans l'enseignement supérieur et l'EFTP, mais il est aussi de plus en plus appliqué sous diverses formes dans l'enseignement primaire et secondaire. L'EBC vise à faire passer l'éducation de modèles de temps fixe et d'apprentissage flexible à des modèles de temps flexible et d'apprentissage fixe. Dans les modèles d'EBC, les élèves sont invités à démontrer des connaissances, des compétences et des valeurs appliquées en contexte par le biais d'évaluations, et ils reçoivent autant de soutien supplémentaire que nécessaire jusqu'à ce qu'ils atteignent les repères définis (NCLSorg, 2017).

Au cœur de l'EBC se trouve le concept de « compétence », un terme qui a évolué pour maintenant décrire « la mobilisation de connaissances, compétences, attitudes et valeurs pour répondre à des besoins complexes » (OCDE, 2019, pp. 5-6). Les compétences visées par un programme d'études sont généralement exprimées par des résultats d'apprentissage, ou ce qu'un étudiant est censé savoir, comprendre et être capable de faire à l'issue d'un cursus (Biggs et Collis, 1982 ; Cedefop, 2017 ; Kinta, 2013). La terminologie « résultat d'apprentissage » est une modification de l'ancienne formulation « objectif d'apprentissage » : ce nouveau terme est plus à même de garantir que l'énoncé se concentre sur les actions ou les réalisations des étudiants plutôt que sur celles des enseignants, en plus d'être défini à l'aide d'applications mesurables (Lopez et al., 2015 ; Sinha, 2020). La relation entre les programmes, les résultats d'apprentissage et les compétences est complexe dans la pratique, mais assez directe au point de vue théorique : un programme d'études décrit un ensemble de résultats d'apprentissage prévus, et les évaluations des étudiants démontrent qu'ils ont atteint ces résultats par l'application de connaissances, d'aptitudes et d'attitudes/de valeurs dans le domaine ou le sujet d'étude et, idéalement, dans de nouveaux domaines – ce que la taxonomie SOLO<sup>9</sup> de Biggs et Collis (1982) appelle la capacité d'abstraction, ou le degré abstrait, « élargi(e) » (*extended abstract capacity*).

Les cadres et programmes examinés pour ce rapport font également référence au constructivisme, au constructionnisme, à la pensée computationnelle et à la pensée créatrice.

Le ou les « constructivisme(s) » est ou sont une large série de concepts qui existent dans le monde

universitaire et s'appliquent aux façons dont les connaissances sont créées ou construites (et parfois co-construites) par les individus via les interactions entre eux et avec leurs environnements physiques, culturels et institutionnels ou systémiques (Taber, 2016). Les types de constructivisme souvent appliqués dans l'éducation sont élaborés en grande partie à partir des travaux de Piaget (1972), qui expose une théorie des types et des formes d'apprentissage qui sont ou ne sont pas accessibles aux enfants à différents stades de développement ; par exemple, l'application concrète précéderait l'abstraction.

Le « constructionnisme » apparaît comme un concept annexe : il s'agit de la philosophie selon laquelle les étudiants apprennent mieux quand ils appliquent les connaissances à des projets qui présentent un intérêt personnel pour eux (Papert et Harel, 1991). Le constructionnisme est tout particulièrement applicable aux programmes d'études numériques en raison de ses origines dans les domaines des TIC et des mathématiques et de sa préoccupation pour les façons dont le sens est généré par le processus d'engagement, de manipulation et de modification des artefacts numériques (Kynigos, 2015). Bien que les constructivistes et les constructionnistes partagent une base commune, ces derniers remettent en question les hiérarchies de connaissances établies par Piaget (1972), avançant des arguments selon lesquels les élèves peuvent s'engager de manière productive dans des concepts plus complexes à un plus jeune âge grâce à l'utilisation de médias numériques et de méthodes telles que la programmation par blocs (Papert, 1996).

La pensée computationnelle, autrement dit la série de processus mentaux et physiques entrepris pour élaborer une solution numérique face à un problème (identifier un problème, le décomposer en parties, construire et assimiler des solutions, les tester et les affiner), est théoriquement applicable à un éventail de domaines en dehors de l'informatique (Lodi et Martini, 2021). Les quatre « parties » établies de la pensée computationnelle sont parfois citées comme étant la décomposition, l'abstraction, l'analyse et les algorithmes (Kush, 2019). Lee et al. (2011) ont étudié un éventail d'initiatives de pensée computationnelle dans les classes de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année et ont conclu que ses processus pouvaient effectivement être déployés par des élèves issus de milieux sociodémographiques variés. Ils ont en outre proposé un modèle de progression d'apprentissage selon un modèle « utiliser-modifier-crée » pour s'engager dans la pensée computationnelle ; ils ont noté que des enseignants qualifiés, des réflexions relatives

<sup>9</sup> SOLO signifie « structure des résultats d'apprentissage observés » – en anglais *Structure of Observed Learning Outcome*.

au développement et une technologie appropriée constituaient des dispositifs de soutien essentiels.

Un dernier outil présenté dans le contexte de certains programmes inclus dans cette étude est la « pensée créative » (*design thinking*). Il est présenté comme « un processus analytique et créatif qui engage une personne dans des situations où elle a l'occasion d'expérimenter, de créer et de prototyper des modèles, de recueillir des commentaires et de redessiner » (Razzouk et Shute, 2012). Conçue à l'origine dans des domaines tels que l'archéologie, le marketing et l'économie (Buchanan, 1992), la pensée créative a commencé à émerger dans l'industrie au début des années 1990, où elle a été développée en tant que méthodologie orientée vers le consommateur pour concevoir des produits ou des modèles d'affaires innovants, en particulier ceux impliquant la technologie (Hobcraft, 2017). Le processus de la pensée créative passe par l'empathie (par exemple avec les consommateurs), la définition de l'énoncé d'un problème, la conception d'idées en vue de trouver des solutions, puis le prototypage et les tests dans un cycle de conception itératif jusqu'à l'obtention d'une innovation souhaitable (Hasso Plattner Institute of Design, 2010). Dans les écoles, la pensée créative peut offrir une procédure claire pour répondre à un besoin d'activités et de compétences autant numériques qu'interdisciplinaires.

## Cadres de référence existants pour les programmes de l'IA

Quelques initiatives récentes visent à définir ou à créer des cadres de programmes d'IA pour les classes de la maternelle à la terminale. Trois d'entre elles sont détaillées dans cette section : Connaissance de l'IA :

compétences et réflexions en matière de conception, AI4K12 : recommandations pour le programme de l'IA de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année<sup>10</sup>, et le cadre éducatif de l'apprentissage automatique. Cette liste n'est pas exhaustive, car un certain nombre d'ONG, de structures marchandes et d'universités, voire d'individus, ont développé des cadres de curriculums relatifs à l'IA pour soutenir leurs propres programmes et entreprises. Certains de ces cadres sont utilisés par les gouvernements, comme le Microsoft Computer Science Framework, et sont inclus dans la cartographie des résultats d'apprentissage plus loin dans ce rapport. Les trois cadres dont il est question dans cette section ont été développés d'abord dans le but d'analyser le développement de curriculums en IA par une série de partenaires et ne sont pas liés à des produits ou des cours spécifiques.

### Connaissance de l'IA : compétences et réflexions en matière de conception

Long et Magerko (2020) présentent une série de compétences et de réflexions sur la conception relative à la littératie en matière d'IA, en se basant sur une étude préliminaire portant sur la recherche existante et qui vise à déterminer les thèmes émergents dans 1) ce que les experts en IA pensent qu'un public non spécialiste devrait savoir, 2) les perceptions communes et les idées fausses parmi les apprenants.

Leur étude de cadrage identifie 17 compétences et 13 réflexions relatives à la conception. Les descriptions indiquent que, dans le cadre de cette proposition, les compétences se situent systématiquement aux niveaux inférieurs d'une taxonomie des connaissances, se limitant en grande partie à la compréhension, la description et l'identification. Les compétences proposées par Long et Magerko sont présentées dans le **tableau 1**.

**Tableau 1. IA : cadre de compétences de la littératie**

Compétence	Description / résultats d'apprentissage
1. Reconnaître l'IA	Reconnaître les artefacts technologiques qui utilisent ou non l'IA
2. Comprendre l'intelligence	Analyser et discuter de manière critique les caractéristiques qui rendent une entité « intelligente ». Débattre des différences entre l'intelligence humaine, animale et artificielle.
3. Pratiquer l'interdisciplinarité	Considérer qu'il existe de nombreuses façons de penser et de développer des machines « intelligentes ». Identifier une variété de technologies qui utilisent l'IA, y compris des technologies couvrant les systèmes cognitifs, la robotique et l'AM.
4. Identifier l'IA générale vs. étroite	Faire la distinction entre l'IA générale et l'IA étroite.
5. Forces et faiblesses de l'IA	Identifier les types de problèmes dans lesquels l'IA excelle ou non. Déterminer quand il est pertinent d'utiliser l'IA et quand il faut faire appel aux compétences humaines.

<sup>10</sup> Voir <https://ai4k12.org>

Compétence	Description / résultats d'apprentissage
6. Imaginer la future IA	Imaginer les applications futures possibles de l'IA et réfléchir aux effets de ces applications sur le monde.
7. Représentations	Comprendre ce qu'est une représentation des connaissances et décrire quelques exemples de représentations des connaissances.
8. Prise de décision	Reconnaître et décrire des exemples de la manière dont les ordinateurs raisonnent et prennent des décisions.
9. Étapes AM	Comprendre les étapes de l'apprentissage automatique (apprentissage machine, AM) ainsi que les pratiques et les défis que chaque étape implique.
10. Place de l'humain dans l'IA	Être conscient que les humains jouent un rôle important dans la programmation, le choix des modèles et la mise au point des systèmes d'IA.
11. Connaître les données	Comprendre les concepts de base de la maîtrise des données.
12. Apprendre à partir des données	Savoir que les ordinateurs apprennent souvent à partir de données (y compris leurs propres données).
13. Interprétation critique des données	Comprendre que les données nécessitent une interprétation. Décrire comment les exemples d'entraînement fournis pour un ensemble de données initial peuvent affecter les résultats d'un algorithme.
14. Action et réaction	Comprendre que certains systèmes d'IA ont la capacité d'agir physiquement sur le monde. Cette action peut être dirigée par un raisonnement élaboré (par exemple, marcher le long d'un chemin planifié) ou par des impulsions réactives (par exemple, sauter en arrière pour éviter un obstacle détecté).
15. Capteurs	Comprendre ce que sont les capteurs, par lesquels les ordinateurs perçoivent le monde. Identifier les capteurs sur une variété de dispositifs. Être conscient du fait que différents capteurs permettent différents types de représentation et de raisonnement sur le monde.
16. Éthique	Identifier et décrire les différents points de vue sur les principales questions éthiques entourant l'IA : vie privée, emploi, désinformation, « singularité <sup>11</sup> », prise de décision, diversité, partialité, transparence et responsabilité.
17. Programmabilité	Comprendre que les agents sont programmables.

Source : Long et Magerko, 2020

Les considérations relatives à la conception proposées par Long et Magerko (2020) sont axées sur les méthodes pédagogiques et d'apprentissage, mais aussi sur des éléments sociaux et interpersonnels. Dans l'ensemble, ils mettent l'accent sur l'apprentissage par l'expérience et la nécessité d'un matériel adapté, une appréciation des exigences cognitives et de la théorie du développement de l'enfant, et le positionnement de l'IA dans les contextes des apprenants. Les 15 considérations spécifiques relatives à la conception que les chercheurs présentent sont les suivantes :

- 1. Explicabilité.** Inclure des visualisations graphiques, des modélisations, des explications sur les processus décisionnels des agents ou des démonstrations interactives afin d'aider les apprenants à comprendre l'IA.
- 2. Interactions incarnées.** Concevoir des interventions dans lesquelles les individus peuvent jouer le rôle de l'agent ou le suivre, afin de donner un sens au processus de raisonnement de l'agent. Il peut s'agir de simulations incarnées d'algorithmes et/ou d'expérimentations physiques pratiques via la technologie de l'IA.
- 3. Contextualiser les données.** Encourager les apprenants à rechercher qui a créé tel ensemble de données, comment les données ont été collectées et quelles sont les limites de cet ensemble de données. Cela peut impliquer de choisir des ensembles de données qui ont un rapport avec la vie quotidienne des apprenants, qui sont de faible dimension et qui sont « désordonnées » (c'est-à-dire non nettoyées ou non catégorisables).
- 4. Promouvoir la transparence.** Favoriser la transparence dans tous les aspects de la conception de l'IA (c'est-à-dire éliminer la fonctionnalité de boîte noire, partager les intentions du créateur ou les sources de financement et de données, etc.).
- 5. Dévoiler progressivement.** Pour éviter la surcharge cognitive, donner aux utilisateurs la possibilité d'examiner les différents éléments du système et d'étudier ces éléments ; n'expliquer que quelques éléments à la fois ; ou bien encore, introduire un échafaudage qui s'estompe au fur et à mesure que l'utilisateur en apprend davantage sur le fonctionnement du système.
- 6. Possibilités de programmer.** Fournir aux personnes des moyens de programmer et/ou d'enseigner les agents d'IA. Réduire au minimum les conditions

<sup>11</sup> Désigne le point à partir duquel l'IA devient plus intelligente que les humains, et peut s'accompagner de craintes que l'IA ne nuise intentionnellement aux humains.

préalables au codage en mettant l'accent sur les éléments visuels/auditifs et/ou en intégrant des stratégies telles que les problèmes de Parsons et le code à remplir.

7. **Étapes importantes.** Examiner comment les perceptions de l'IA sont affectées par les étapes du développement (par exemple, le développement de la théorie de l'esprit), l'âge et l'expérience antérieure dans le domaine de la technologie.
8. **Pensée critique.** Encourager les apprenants à être des consommateurs critiques des technologies de l'IA en remettant en question l'intelligence et la fiabilité des applications de l'IA.
9. **Identités, valeurs et antécédents.** Considérer comment les identités, les valeurs et les antécédents propres aux apprenants influencent leur intérêt et leurs idées préconçues sur l'IA. Les interventions pédagogiques qui intègrent l'identité personnelle ou les valeurs culturelles peuvent favoriser leur intérêt et leur motivation.
10. **Soutien aux parents.** Lors de la conception à destination des familles, aider les parents à renforcer les expériences d'apprentissage de l'IA de leurs enfants.
11. **Interaction sociale.** Concevoir des expériences d'apprentissage de l'IA qui favorisent l'interaction sociale et la coopération.
12. **Mettre à profit les intérêts des apprenants.** Lorsque l'on conçoit des interventions d'alphabétisation par l'IA, mobiliser les questions d'actualité, les expériences quotidiennes ou les passe-temps communs comme les jeux ou la musique.
13. **Admettre l'existence d'idées préconçues.** Tenir compte du fait que les apprenants peuvent avoir des idées préconçues de l'IA, éventuellement politisées ou sensationnalistes, véhiculées par les médias populaires, et envisager comment respecter, aborder et développer ces idées dans les interventions pédagogiques.
14. **Perspectives nouvelles.** Présenter des points de vue qui ne sont pas aussi bien représentés dans les médias populaires (par exemple, des sous-domaines de l'IA moins médiatisés, des discussions équilibrées sur les dangers et les avantages de l'IA).
15. **Faciliter l'entrée (*Low barrier to entry*).** Réfléchir à la manière de partager les concepts de l'IA avec des apprenants qui ne possèdent pas de connaissances approfondies en mathématiques ou en informatique (par exemple, en réduisant les connaissances/compétences préalables, en établissant un lien entre l'IA et les connaissances antérieures, ou en répondant aux insécurités des apprenants quant à leurs capacités).

## AI4K12 : Cinq grandes idées et recommandations pour le programme de l'IA de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année

L'initiative AI4K12 a été lancée en 2018 par l'Association sur l'avancement de l'intelligence artificielle (en anglais AAAI), l'Association des enseignants en informatique des États-Unis (en anglais CSTA) et AI4All, sous forme d'un groupe de travail mixte qui vise à élaborer des directives nationales pour l'enseignement de l'IA à destination des élèves de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année (AAAI, 2018).

Ce groupe a rassemblé des universitaires, des chercheurs et des enseignants dans le but de travailler à l'élaboration d'un cadre global de l'IA basé sur « cinq grandes idées » : 1) les ordinateurs perçoivent le monde à l'aide de capteurs ; 2) les agents conservent des représentations du monde et les utilisent pour raisonner ; 3) les ordinateurs peuvent apprendre à partir de données ; 4) les agents intelligents ont besoin de nombreux types de connaissances pour interagir naturellement avec les humains ; 5) notion centrale : l'IA peut avoir un impact à la fois positif et négatif sur la société. Le support visuel « Cinq grandes idées en intelligence artificielle » (*Five Big Ideas in Artificial Intelligence*) a été traduit en 15 langues à ce jour<sup>12</sup>, et a fourni au moins pour partie une base pour le développement de curriculums dans de multiples contextes, y compris plusieurs des programmes étudiés dans le cadre de cette étude.

Le groupe de travail s'est rassemblé pour examiner chacune de ces idées dans un cadre curriculaire divisé en quatre parties, à savoir les niveaux correspondant aux années 1 et 2, 3 à 5, 6 à 8 et 9 à 12. À ce jour, des lignes directrices pour les trois premières « grandes idées » ont été rédigées et sont actuellement ouvertes aux commentaires publics<sup>13</sup>.

Dans ces directives, chaque « grande idée » est subdivisée en concepts de formation, eux-mêmes divisés en composantes conceptuelles. Par exemple, les concepts d'apprentissage, les composantes conceptuelles et les résultats d'apprentissage associés à la « Grande idée 1 : Perception » sont résumés dans le **tableau 2**.

<sup>12</sup> Voir [https://ai4k12.org/wp-content/uploads/2021/01/AI4K12\\_Five\\_Big\\_Ideas\\_Poster\\_French.pdf](https://ai4k12.org/wp-content/uploads/2021/01/AI4K12_Five_Big_Ideas_Poster_French.pdf)

<sup>13</sup> Voir <https://ai4k12.org/gradeband-progression-charts>

Tableau 2. « Grande idée 1. Perception » : composantes conceptuelles et résultats d'apprentissage

Concepts d'apprentissage	Composantes du concept	Progression des résultats d'apprentissage
Détection	Êtres vivants	K-2 : Identifier les sens et les organes sensoriels humains. 3-5 : Comparer la perception humaine et animale. 6-8 : Donner des exemples de la façon dont les humains combinent des informations provenant de conditions multiples. 9-12 : N/A
	Capteurs informatiques	K-2 : Localiser et identifier les capteurs (caméra, microphone) sur les ordinateurs, les téléphones, les robots et autres équipements. 3-5 : Illustrer comment la détection par ordinateur diffère de la détection humaine. 6-8 : Donner des exemples de la manière dont les agents intelligents combinent les informations provenant de plusieurs capteurs. 9-12 : Décrire les limites et les avantages des différents types de capteurs informatiques.
	Codage numérique	K-2 : N/A 3-5 : Expliquer comment les images sont représentées numériquement dans un ordinateur. 6-8 : Expliquer comment les sons sont représentés numériquement dans un ordinateur. 9-12 : Expliquer comment les données radar, Lidar, GPS et accéléromètre sont représentées.
Traitement	Sensation et perception	K-2 : Donner des exemples de machines intelligentes et non intelligentes et discuter de ce qui rend une machine intelligente. 3-5 : Utiliser un outil logiciel tel qu'un logiciel de transcription de la parole ou une démo de reconnaissance visuelle des objets pour montrer la perception de la machine, et expliquer pourquoi il s'agit de perception plutôt que de simple détection. 6-8 : Donner des exemples de différents types de perception informatique capables d'extraire le sens des signaux sensoriels. 9-12 : Expliquer les algorithmes de perception et comment ils sont utilisés dans les applications du monde réel.
	Extraction de caractéristiques	K-2 : Donner des exemples de caractéristiques à rechercher pour reconnaître une certaine classe d'objets ou d'entités (par exemple, des chats) dans une image. 3-5 : Illustrer le fonctionnement de la détection des visages par l'extraction des caractéristiques faciales. 6-8 : Illustrer le concept de l'extraction de caractéristiques des images en simulant un détecteur de bords. 9-12 : Expliquer comment les caractéristiques sont extraites des formes d'onde et des images.
	Abstraction via le langage	K-2 : Décrire les différents sons qui composent sa (propre) langue parlée et, pour chaque voyelle, donner un mot contenant ce son. 3-5 : Illustrer comment des séquences de sons peuvent être reconnues comme des possibilités de mots, même si certains sons ne sont pas clairs. 6-8 : Illustrer comment des séquences de mots peuvent être reconnues comme des phrases, même si certains des mots ne sont pas clairs. 9-12 : Illustrer la hiérarchie d'abstraction pour la compréhension de la parole, des formes d'onde aux phrases.
	Abstraction via la vision	K-2 : Démontrer la segmentation figure/fond en identifiant les figures de premier plan et l'arrière-plan dans une image. 3-5 : Illustrer comment les contours d'objets partiellement occultés (bloqués) dans une image diffèrent des formes complètes des objets. 6-8 : Décrire comment les détecteurs de bords peuvent être composés pour former des détecteurs de caractéristiques plus complexes, par exemple pour les lettres ou les formes. 9-12 : Démontrer comment le raisonnement perceptif à un niveau d'abstraction supérieur s'appuie sur des niveaux d'abstraction inférieurs.
Connaissance du domaine	Types de connaissances du domaine	K-2 : Décrivez certaines choses qu'un agent intelligent doit « savoir » pour donner un sens à une question. 3-5 : Démontrer comment un système de synthèse vocale peut résoudre l'ambiguïté en utilisant le contexte, et comment le taux d'erreur augmente avec des entrées non grammaticales. 6-8 : Classifier une image donnée, puis décrire les types de connaissances dont un ordinateur aurait besoin pour comprendre des scènes de ce type. 9-12 : Analyser un ou plusieurs ensembles de données d'images en ligne. Décrire les informations fournies par les ensembles de données et comment elles peuvent être utilisées pour extraire des connaissances du domaine pour un système de vision par ordinateur.
	Inclusion	K-2 : Débattre des raisons pour lesquelles les agents intelligents doivent comprendre d'autres langues. 3-5 : Débattre de la manière dont la connaissance du domaine doit être suffisamment large pour tous les groupes qu'une application est destinée à servir. 6-8 : Décrire comment un système de vision pourrait faire preuve de partialité culturelle s'il manquait de connaissances sur des objets qui ne se trouvent pas dans la culture de ceux qui l'ont créé. 9-12 : Décrire certaines des difficultés techniques liées au bon fonctionnement des systèmes de perception informatique pour divers groupes.

Source : AI4K12 (2020)

Chaque grande idée est décomposée de la même manière, avec un parcours concret de résultats d'apprentissage, du début de l'école primaire au lycée. En plus de ces résultats, les lignes directrices du programme offrent des exemples de « connaissances durables » dont on attend des élèves qu'ils les retiennent, par exemple : « Les sons sont codés numériquement en échantillonnant la forme d'onde à des points discrets (généralement plusieurs milliers d'échantillons par seconde), ce qui donne une série de chiffres » ou « La hiérarchie du langage parlé est la suivante : formes d'onde ➔ gestes articulatoires ➔ sons ➔ morphèmes ➔ mots ➔ phrases ➔ phrases ». Parfois, les résultats d'apprentissage et les connaissances durables sont davantage décortiqués, comme l'était ce deuxième exemple : « Passer de signaux bruyants et ambigus à la signification nécessite de reconnaître la structure et d'appliquer les connaissances du domaine à plusieurs niveaux d'abstraction ». Un exemple classique : en anglais, les phrases « Comment reconnaître la parole » et « Comment détruire une belle plage » (respectivement *"How to recognize speech"* et *"How to wreck a nice beach"*) sont pratiquement identiques au niveau de la forme d'onde. »

De temps à autre, des activités sont suggérées. Par exemple, pour expliquer les arbres de décision au niveau de la 3<sup>e</sup> à la 5<sup>e</sup> année, le jeu « Devinez l'animal », la résolution de problèmes et l'activité « Pasta Land » (pâte à modeler) sont recommandés.

Les grandes idées se renforcent mutuellement. Par exemple, la « Grande idée 3 » s'appuie sur les connaissances issues des composants de détection pour faciliter une discussion sur les différences entre la façon dont apprennent les humains et les ordinateurs. De même, elle s'appuie sur les connaissances des composants de traitement pour permettre aux apprenants d'étiqueter un ensemble de données en vue d'un apprentissage automatique, de former des classificateurs et d'utiliser des concepts d'IA tels que les arbres de décision, les réseaux neuronaux, l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage par renforcement.

## Le cadre éducatif de l'apprentissage automatique

Bien qu'il ne mentionne jamais l'enseignement fondé sur les compétences, le cadre d'enseignement de l'apprentissage automatique (Lao, 2020) suit le cadre bien connu de l'EBC, à savoir les connaissances, les aptitudes et les attitudes (qui, dans d'autres contextes, incluent des éléments telles que les capacités et/ou les valeurs) (Brewer et Comyn, 2015 ; CANTA, 2014 ; Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2006). Par le passé, l'EBC a été l'objet de critiques pour

son manque d'attention vis-à-vis de la signification de la tâche pour les élèves et pour une vision réductionniste de la compétence qui, bien que fermement ancrée dans le contexte de la performance, est moins sensible aux facteurs individuels tels que l'expérience antérieure et une certaine souplesse pour exploiter des ressources externes, par exemple les connaissances des coéquipiers (Rutayuga, 2014). Cependant, l'intégration progressive de théories telles que le constructivisme et l'apprentissage par l'expérience (Brunner, 1990 ; Kolb, 2015 ; Piaget, 1972 ; Williams, 2017) a abouti à un cadre basé sur les compétences qui se concentre sur « la tête, le cœur et les mains » (en anglais *head, heart and hands*), dans lequel la « tête » représente le domaine cognitif (ce que vous savez à ce sujet), le « cœur » le domaine affectif (pourquoi cela importe) et les « mains » le domaine psychomoteur (ce que vous pouvez faire avec) (Gazibara, 2013 ; Singleton, 2015 ; Sipos et al, 2008). Cette intégration a également élargi le concept de compétence, pour inclure les aptitudes sociales et émotionnelles (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2006 ; Mulder, 2007).

Lao (2020) s'appuie en outre sur :

- les théories du constructionnisme, ou l'idée que l'apprentissage est amélioré lorsqu'il est réalisé via la construction d'un objet qui présente une signification personnelle pour les élèves ;
- la pensée computationnelle, c'est-à-dire une tentative de recadrage des concepts de compétence familiers visant à les appliquer concrètement au monde de la programmation : concepts techniques, pratiques de programmation et perspectives sur les relations d'un individu avec la technologie ;
- un modèle permettant de comprendre les résultats d'apprentissage des leçons de pensée computationnelle, divisé en trois parties : l'abstraction, c'est-à-dire la capacité d'appliquer des concepts à de nouveaux cas d'utilisation ; l'automatisation, c'est-à-dire l'utilisation d'un ordinateur pour accroître l'efficacité de tâches répétées ; l'analyse, c'est-à-dire la réflexion sur les hypothèses et les méthodes de mise en œuvre de l'élève (Lee et al., 2011) ;
- « Utiliser-Modifier-Créer » (UMC), une progression par étapes souvent employée dans les leçons de pensée computationnelle, dans laquelle les élèves utilisent d'abord un logiciel existant, puis le modifient pour répondre à de nouveaux besoins, et enfin créent un nouveau logiciel (Lee et al., 2011).

Le cadre éducatif de l'apprentissage machine (décrit dans le **tableau 3**) consiste en six « cours minimalement requis pour les citoyens engagés dans l'apprentissage automatique », et vise un public de « bricoleurs/consommateurs » (Lao, 2020, p. 61). Dans ce cadre, Lao avance que la compréhension des préjugés et des implications sociétales de l'IA sont des exigences fondamentales pour toutes les compétences.

**Tableau 3. Le cadre éducatif de l'apprentissage machine (apprentissage automatique) : résultats d'apprentissage et définitions**

Connaissances	
1. Connaissances générales sur les AM*	Savoir ce qu'est (et n'est pas) l'apprentissage automatique. Comprendre l'ensemble du pipeline de la création de systèmes AM.
2. Connaissance des méthodes AM	Identifier quand utiliser une gamme de méthodes AM dans l'ensemble du domaine (par ex. les x voisins les plus proches, CART ou arbres de décision, réseaux neuronaux, méthodes d'ensemble). Comprendre le fonctionnement des différentes méthodes.
3. Biais dans les systèmes AM*	Comprendre que les systèmes peuvent être biaisés, ainsi que les différents niveaux et moyens par lesquels un biais peut être introduit.
4. Implications sociétales de l'IA*	Comprendre que les systèmes d'AM peuvent avoir des impacts positifs et négatifs étendus. Prendre en compte les implications éthiques, culturelles et sociales de leurs actions.
Compétences	
1. Définition de la portée du problème de l'AM	Déterminer quels problèmes peuvent et doivent être résolus par l'AM.
2. Planification du projet AM	Prévoir une solution qui tienne compte des données techniques et contextuelles.
3. Création d'artefacts AM	Utiliser des outils pour créer des artefacts pertinents.
4. Analyse des interactions et des résultats de la conception de l'AM*	Décrire les intentions explicites et implicites de la conception d'un système d'AM. Analyser de manière critique les intentions par rapport à la façon dont le système peut et doit être utilisé.
5. Défense des intérêts des AM*	Discuter de manière critique des politiques, des produits et de l'éducation de l'AM.
6. Apprentissage indépendant en dehors des cours	Les étudiants recherchent des expériences d'apprentissage en dehors de la salle de classe.
Attitudes	
1. Intérêt	Les étudiants sont impliqués et motivés pour étudier le sujet.
2. Identité et communauté	Les étudiants contribuent et apprennent d'une communauté de pairs et/ou de communautés en ligne plus larges qui s'intéressent à l'AM.
3. Auto-efficacité	Les élèves renforcent leurs capacités en construisant des choses nouvelles et significatives.
4. Persistance	Les étudiants poursuivent et élargissent leur implication dans l'AM.

\*Les éléments marqués d'une étoile sont les six cours obligatoires décrits dans le cadre.

Source : Lao, 2020

En présentant également une grille d'évaluation des programmes de l'AM au regard de ce cadre, Lao (2020) pose les bases d'un ensemble de normes au niveau de la sortie, bases sur lesquelles on pourrait s'appuyer. Par exemple, les quatre « meilleurs scores » de la rubrique pour les quatre résultats d'apprentissage sous « Connaissance » sont les suivants :

1. **Connaissances générales.** Les diplômés de ce cours peuvent donner une définition précise de l'apprentissage automatique et fournir une description détaillée des étapes du pipeline AM, avec des considérations techniques et socio-éthiques pour chaque étape.
2. **Connaissance des méthodes d'apprentissage automatique.** Les diplômés de ce cours sont capables de discerner avec précision quand utiliser une gamme de méthodes d'apprentissage automatique pour l'ensemble du domaine. Ils sont capables de décrire les concepts techniques de base de ces méthodes et de les utiliser/implémenter confortablement dans des applications appropriées. (Lao énumère ensuite son point de vue sur les méthodes appropriées aux différents niveaux d'éducation :
  - **Lycée et plus.** Les X voisins les plus proches, CART/DT, régression, réseaux de neurones convolutifs ; méthodes non supervisées telles que le regroupement K-means, l'analyse en composantes principales, les RAG et les *embeddings* ; RNN/LSTM ; apprentissage par

renforcement ; apprentissage par transfert ; et méthodes d'ensemble.

- **École primaire et collège.** Mise en place d'applications qui permettent aux élèves d'accomplir des tâches spécifiques à l'aide de l'AM (par exemple, en exploitant les applications de réseaux neuronaux et de RAG pour créer de l'art ou de la musique, ou en déployant l'apprentissage par renforcement pour jouer à des jeux, etc.).
3. **Biais.** Les diplômés de ce cours sont capables de décrire comment les systèmes AM peuvent être biaisés de manière imprévisible vis-à-vis de groupes spécifiques à chaque étape du pipeline AM. Ils peuvent incorporer de manière critique les pratiques de la pensée et de la conception éthiques dans leur propre travail.
  4. **Implications sociales.** Les diplômés de ce cours admettent qu'il est nécessaire pour les créateurs de technologies AM de considérer les implications sociétales de leur travail. Ils sont capables d'appliquer des perspectives et des concepts éthiques et culturels à l'analyse des artefacts d'AM de manière globale, interrelationnelle et sensible (c'est-à-dire en tenant compte de la vie privée, de la sécurité, du risque d'abus et de l'équilibre entre les avantages et les inconvénients, et en évaluant la réception ethnographique et les impacts disproportionnés à l'aide d'outils tels que les analyses des parties prenantes, les matrices éthiques et les cartes modèles).

# Méthodologie

## Collecte des données

Deux enquêtes ont été distribuées, la première aux représentants des 193 États membres de l'UNESCO et la seconde à plus de 10 000 acteurs du secteur privé et du tiers secteur<sup>14</sup>. Les enquêtes demandaient aux répondants de rendre compte des programmes d'enseignement de l'IA destinés aux élèves de l'enseignement général de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. L'annexe A présente les questions de l'enquête envoyée aux représentants des États membres. Elle n'a été que très légèrement modifiée pour les acteurs du secteur privé et du tiers secteur.

Après le retour des enquêtes, l'équipe a envoyé par courriel des questions supplémentaires, sur les résultats d'apprentissage, la mise en œuvre et la préparation, aux répondants qui avaient indiqué avoir des programmes d'IA à un certain stade de développement.

En outre, des entretiens semi-structurés avec des informateurs-clefs ont été menés avec des représentants des États membres, des dirigeants et des concepteurs travaillant dans un cadre à but non lucratif, des universitaires et des professionnels du secteur marchand, afin d'obtenir des précisions sur les programmes et leur déploiement dans les écoles. Les entretiens ont porté sur les motivations ayant présidé à l'élaboration des programmes d'enseignement de l'IA et sur les raisons ayant présidé aux décisions prises en matière de méthodes de mise en œuvre et de pédagogie.

Enfin, un exercice de cartographie a été réalisé pour les programmes déjà rédigés ou publiés et disponibles pour examen. L'exercice a été particulièrement attentif aux résultats d'apprentissage énoncés dans chaque programme. Dans la mesure du possible, les manuels ou matériels associés ont également été examinés afin de mieux comprendre le contenu traité par le programme.

## Critères de sélection des programmes de l'IA approuvés par le gouvernement

Cette étude se concentre sur les programmes validés par les gouvernements dans l'enseignement général de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. Les résultats ne comprennent que les curriculums qui ont été ou sont en passe d'être approuvés par les gouvernements

nationaux ou locaux. Comme indiqué précédemment, le terme « programmes d'enseignement de l'IA », ou « programmes d'IA », désigne dans cette étude des programmes pédagogiques structurés qui couvrent des sujets dans le domaine de l'IA et s'engagent sur des résultats d'apprentissage liés à l'IA.

Sur les 193 États membres contactés par les canaux de correspondance officiels de l'UNESCO, 51 ont répondu, indiquant au moins un intérêt général pour le sujet. Parmi eux, 29 pays et un territoire ont répondu à l'enquête complète.

- Les représentants de 10 pays ont déclaré qu'il n'y avait pas de programme d'enseignement de l'IA dans leur pays. Il s'agit de : Bahreïn, Canada, Colombie, Costa Rica, Estonie, Guinée, Macédoine, Maldives, Singapour et Ukraine.
- Les représentants de 20 pays et d'un territoire ont répondu qu'ils avaient connaissance d'au moins un programme d'enseignement de l'IA élaboré et approuvé par le gouvernement ou en cours d'élaboration. Il s'agit de : Algérie, Allemagne, Arabie saoudite, Arménie, Autriche, Belgique, République de Bulgarie, Canada (Territoire du Yukon), République de Corée, Émirats arabes unis, France, Jordanie, Koweït, République démocratique populaire lao, Pérou, Portugal, Qatar, Serbie, Slovaquie et Syrie.

En outre, ce sont 31 ONGs, universitaires et partenaires industriels qui ont répondu à l'enquête non gouvernementale et ont indiqué qu'ils disposaient d'un programme d'études sur l'IA.

Tous les représentants des États membres et les organisations qui ont déclaré avoir un programme d'études sur l'IA ont été contactés par courriel pour des questions de suivi et la demande de tout document disponible sur le programme d'études.

Au cours de ces échanges de suivi par courriel et des exercices de cartographie des programmes, il s'est avéré que certains programmes signalés ne répondaient pas aux critères stricts définis pour être inclus dans cette étude. Les programmes ont été exclus de l'analyse s'ils ne comportaient pas de résultats d'apprentissage spécifiques à l'IA, s'ils ne couvraient pas l'enseignement ordinaire de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année (par exemple, s'ils étaient axés sur l'EFTP), s'ils n'étaient pas approuvés par le gouvernement au niveau national ou régional et/ou s'ils ne fournissaient pas suffisamment d'informations pour être analysés.

<sup>14</sup> Ces acteurs sont issus d'une liste d'organisations-clefs actives dans le domaine des TIC dans l'éducation, liste établie par l'UNESCO au cours de l'organisation de neuf éditions de la Semaine de l'apprentissage mobile entre 2011 et 2020.

## Liste des programmes d'enseignement de l'IA validés par les gouvernements

Les programmes sont classés comme « gouvernementaux » s'ils ont été fournis en réponse à l'enquête distribuée aux États membres de l'UNESCO et s'ils ont été développés par des instances gouvernementales ou sous l'autorité de telles instances. Afin d'être éligibles pour l'analyse, les réponses à l'enquête et aux entretiens devaient fournir des informations claires, cohérentes et significatives sur le curriculum.

Une fois appliqués les critères de sélection à l'ensemble des données des enquêtes gouvernementales et non gouvernementales, il a été constaté que :

- 11 États membres ont élaboré, approuvé et mis en œuvre des programmes d'enseignement de l'IA ;
- le Territoire du Yukon, au Canada, a élaboré et mis en œuvre un programme d'études intitulé *Applied Design, Skills, and Technologies*, qui a été approuvé au niveau local plutôt que national.

**Tableau 4. Coursus K-12 : programmes scolaires de l'IA validés et mis en œuvre par les gouvernements**

Pays/région	Nom du programme	En charge de l'élaboration <sup>15</sup>	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
Arménie	Curriculum of ICT	Gouvernement		X	X
Autriche	Data Science and Artificial Intelligence	Ministère fédéral de l'Éducation, des Sciences et de la Recherche			X
Belgique	IT Repository	Fédération Wallonie-Bruxelles			X
Chine	AI curriculum embedded in the Information Science and Technology curriculum	Ministère de l'Éducation de la République populaire de Chine	X	X	X
Inde	Atal Tinker Labs AI modules	Atal Tinker Labs, Atal Innovation Mission, NITI Aayoag		X	X
République de Corée	'AI Mathematics' under the Mathematics Subject Group for high schools	Fondation coréenne pour l'Avancement de la science et de la créativité			X
	'AI Basics' under Technology Home Economics Subject Group for high schools	Fondation coréenne pour l'Avancement de la science et de la créativité			X
Koweït	Standards curriculum	Experts en orientation technique des programmes scolaires et enseignants	X	X	
Portugal	Information and Communication Technologies	Enseignants des TIC et des mathématiques dans les écoles publiques	X	X	X
Qatar	Computing and Information Technology	Logique binaire, ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur	X	X	X
	Computing and Information Technology (High Tech Track)	Logique binaire, ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur			X
Serbie	Informatics and programming – Grade 8	Groupe de travail du ministère de l'Éducation		X	
	Modern technologies in gymnasiums – Grade 3 and 4	Groupe de travail du ministère de l'Éducation			X
Émirats arabes unis	AI curriculum embedded under the Technology Subject Framework	Ministère de l'Éducation	X	X	X

Source : UNESCO (2021b)

Outre les programmes en cours de mise en œuvre, ceux actuellement en développement et qui seront probablement approuvés par les agences gouvernementales ont également été analysés. Comme le montre le **tableau 5**, il s'agit de trois autres programmes d'IA en Serbie et d'un programme dans quatre autres pays (Allemagne, Jordanie, République de Bulgarie et Arabie saoudite).

<sup>15</sup> Cette colonne montre les réponses telles qu'elles apparaissent dans les enquêtes dûment complétées.

**Tableau 5. Cours K-12 : programmes gouvernementaux d'enseignement de l'IA en cours d'élaboration**

Pays/région	Nom du programme	En charge de l'élaboration	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
Allemagne	1. Identifying and Formulating Algorithms [Algorithmen erkennen und formulieren]	Conférence permanente des ministres de l'Éducation et des Affaires culturelles des Länder	X	X	X
Jordanie	2. Digital Skills	Centre national pour le développement des programmes scolaires		X	X
Bulgarie	3. Computer Modelling, Information Technology and Informatics	Groupes d'experts (universitaires, enseignants, experts en éducation)	X	X	X
Arabie saoudite	4. Digital Skills	Logique binaire et Tatweer Co.	X	X	X
Serbie	5. Technique and Technology	Groupe de travail du ministère de l'Éducation		X	
	6. AI in gymnasiums	Groupe de travail du ministère de l'Éducation			X
	7. AI in all high schools	Groupe de travail du ministère de l'Éducation			X

Source : UNESCO (2021b)

Des programmes d'études non gouvernementaux ont été inclus dans l'étude, s'ils prenaient en charge les résultats d'apprentissage de l'IA et s'ils se trouvaient à un certain stade de mise en œuvre en coopération avec au moins une instance locale. Ces programmes n'ont cependant pas été confirmés comme étant officiellement validés par les agences gouvernementales, et sont inclus uniquement en tant que références non gouvernementales.

Certains concepteurs de ces curriculums ont entrepris d'autres travaux liés aux programmes d'études énumérés, qui ont également été examinés pour la cartographie des programmes d'études. Il s'agit notamment d'une adaptation du programme qui a pour nom « IBM-CBSE AI Curriculum for Grade XI & XII » et de la série de manuels Microsoft intitulée *Artificial Intelligence, Data Analytics et Machine Learning*, tous deux conçus pour être utilisés en Inde ; on trouve aussi le Microsoft *Computer Science Curriculum Toolkit*.

**Tableau 6. Programmes d'études non gouvernementaux sur l'IA inclus dans l'étude en tant que points de référence**

Pays/ région	Nom du programme	En charge de l'élaboration	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
International	1. IBM EdTech Youth Challenge	IBM		X	X
	2. AI Youth Skills	Microsoft		X	X
	3. Global AI Readiness Program (High Tech Track)	Intel		X	X
	4. Global AI Readiness Program (General Track)	Intel		X	X
États-Unis	5. DAILy Curriculum	MIT		X	X

Source : UNESCO (2021b)

## Limites de l'enquête

Comme indiqué précédemment, cette analyse ne prend pas en compte de manière exhaustive les activités liées au développement des compétences en IA pour les élèves, et n'englobe même pas l'ensemble des informations disponibles sur les programmes gouvernementaux relatifs à l'IA. Un large éventail de programmes n'entre en effet pas dans le cadre de cette étude. Par exemple, trois programmes ont été soumis par l'Autriche, mais deux d'entre eux opéraient dans le secteur de l'EFTP, qui n'est pas retenu ici. Un certain nombre de fournisseurs à but lucratif proposent des formations centrées sur leur propre technologie, et de nombreux programmes de formation à l'IA sont proposés par des ONG par le biais de canaux d'apprentissage non formels tels que l'étude indépendante. Aucun de ces programmes n'a été analysé.

Les autres limitations sont les suivantes :

- **Il est possible que certains programmes d'enseignement de l'IA approuvés par les gouvernements aient été omis.** L'enquête a été envoyée aux 193 États membres de l'UNESCO, mais il est possible que certains pays ayant validé des programmes d'IA n'aient pas répondu.
- **Il existe des lacunes dans les données.** Certaines des données recherchées, en particulier le nombre d'écoles et d'apprenants, n'étaient pas disponibles pour de nombreux programmes, qui soit n'en gardent pas trace, soit ne sont pas autorisés à les publier.
- **La pertinence pourrait être remise en question dans le futur.** La cartographie est limitée dans le temps, car de nombreux curriculums se trouvent encore en cours d'élaboration et peuvent être révisés. Cet ensemble de données ne fournit ainsi qu'un instantané des activités dans le secteur non gouvernemental et privé, et pourrait être d'une utilité limitée à l'avenir.

# Principaux résultats de l'analyse des programmes d'IA validés par les gouvernements

Les cinq sections ci-dessous présentent les résultats de l'analyse.

1. La section sur **l'élaboration des programmes et les mécanismes de validation** traite du mandat, de la motivation et des moyens mis en œuvre pour valider les programmes relatifs à l'IA.
2. La section sur **l'intégration et la gestion des programmes** comprend des approches visant à incorporer les programmes d'IA dans les systèmes éducatifs, y compris les volumes horaires (en pourcentages et en heures effectives) et la préparation des conditions essentielles pour accompagner les programmes d'IA.
3. La section sur **le contenu du programme** indique le temps alloué aux sujets dans trois grandes catégories de contenu, à savoir les fondements de l'IA, l'éthique et l'impact social, et la compréhension, l'utilisation et le développement des outils d'IA.
4. Cette section présente **les résultats d'apprentissage** des programmes d'AI cartographiés, définis selon les domaines de compétence des connaissances, des compétences et des valeurs.
5. La section sur **la mise en œuvre des programmes** résume les principales stratégies de formation et de soutien des enseignants, la préparation des outils et des environnements d'apprentissage nécessaires et les pédagogies suggérées.

## Élaboration et validation des programmes

Comme indiqué ci-dessus, 14 programmes d'enseignement de l'IA ont été approuvés et rendus obligatoires dans les écoles par des organismes gouvernementaux dans 11 pays, tandis que 7 programmes dans 5 pays sont encore en cours d'élaboration. Seule la Serbie possède à la fois des programmes validés et des programmes en cours d'élaboration. Deux autres programmes d'études ont été approuvés au niveau local : le programme d'études sur la conception, les compétences et les technologies appliquées du territoire du Yukon au Canada et le programme d'études DAILY du MIT aux États-Unis. Dans certaines parties de l'analyse, les quatre programmes d'enseignement de l'IA du secteur privé et non gouvernemental ont également été inclus comme points de référence.

### Mécanismes d'élaboration et d'approbation des programmes d'IA

#### • Approche centralisée dirigée par le gouvernement

La majorité de ces programmes ont été élaborés par des organismes publics nationaux et approuvés dans le cadre d'une approche centralisée conduite par le gouvernement, parfois avec la participation des principales parties prenantes ou en collaboration avec ces parties prenantes. Par exemple, en République de Corée, l'élaboration a été entreprise par des experts dans le cadre d'une directive gouvernementale ;

en Chine, au Koweït et en République de Bulgarie, le développement a fait participer des enseignants ainsi que des universitaires et des experts.

#### • Prestations privées commandées par le gouvernement

Une deuxième approche consiste en une prestation privée commandée par le gouvernement. En Arabie saoudite et au Qatar, des entreprises ont été chargées par le gouvernement de développer le programme national. Le représentant de l'Arabie saoudite a fait le commentaire suivant :

// De nouvelles technologies apparaissent chaque jour, et les fonctionnalités des applications sont fréquemment mises à jour. C'est pourquoi nous choisissons de travailler avec une entreprise privée de qualité qui jouit d'une solide réputation en matière de construction de programmes d'enseignement des TIC et qui intègre les dernières technologies et applications informatiques.

#### • Approche décentralisée dirigée par le gouvernement

La troisième approche en matière de développement et d'approbation privilégie une approche décentralisée dirigée par le gouvernement. Ainsi, en Belgique, un mandat parlementaire a permis d'établir des normes qui ont ensuite été adoptées par des réseaux d'écoles. Ces réseaux déterminent des aspects tels que les technologies et les pédagogies à utiliser. Une approche similaire est observée en Allemagne, où un mandat

national et des normes sont ensuite concrétisés par les gouvernements locaux ou provinciaux en un programme d'études à mettre en œuvre dans les écoles.

- **Programmes d'IA non gouvernementaux dirigés par le secteur privé**

Il arrive, enfin, que certains programmes scolaires relèvent du secteur non gouvernemental et soient pilotés par des acteurs du domaine privé. Ils peuvent être adoptés tels quels par les écoles ou adaptés par des spécialistes locaux lorsqu'ils proposent l'élaboration de programmes pour des agences gouvernementales. Ces programmes présentent un certain degré de souplesse, de manière à pouvoir être intégrés dans divers cadres gouvernementaux et répondre à des exigences précises ; une configuration individualisée supplémentaire est également à considérer pour des contextes nationaux spécifiques. Une composante importante du développement et de l'approbation de ces programmes est la validation, au niveau tant national qu'international. Le représentant d'Intel mentionne ainsi :

// Nous avons fait valider le programme de manière approfondie par les pays... Nous avons créé un vivier mondial d'experts dédiés à la validation et leur avons donné le contenu à modifier et à propos duquel faire des recommandations. Lorsque nous avons commencé à le mettre en œuvre en 2019 et 2020, nous avons procédé à une évaluation approfondie.

En tout état de cause, rien ne prouve que ces programmes d'IA dont la mise en œuvre est confiée au secteur privé ont reçu une validation gouvernementale. Dans cette approche, il arrive que des acteurs industriels ou universitaires, dont IBM, Intel, Microsoft et le MIT, aient produit leurs propres programmes et ressources en consultation avec des experts et des enseignants.

## Vision et motivations pour le développement de programmes en IA

Les personnes interrogées mentionnent deux raisons principales au développement des programmes d'IA : d'une part améliorer les qualifications et répondre aux demandes de compétences requises par le marché du travail, d'autre part s'assurer que les étudiants obtiennent leur diplôme avec les savoir-faire nécessaires aux interactions quotidiennes pour la vie quotidienne dans la société contemporaine. L'importance accordée à ces considérations varie toutefois assez largement. Par exemple, un pays a mentionné qu'il accordait un intérêt très limité aux compétences liées au marché du travail, alors que

d'autres ont indiqué qu'il s'agissait de leur critère principal.

L'objectif de définir et développer des compétences pour le marché du travail reflète une compréhension de l'évolution des besoins du secteur technologique et du monde professionnel en général. Pour la plupart des pays, quoique pas tous, cet objectif est lié au souhait d'élargir la base de la main-d'œuvre compétitive au niveau international. Les développeurs d'entreprises ont également mentionné qu'il s'agissait d'une forte motivation pour inclure le développement de cours de formation en IA pour les étudiants dans leurs activités relevant de la responsabilité sociale des entreprises.

La deuxième raison était associée non seulement à la compréhension de l'IA comme un moteur de transformation sociale et économique, mais aussi au désir de favoriser une connaissance générale de l'IA, de ses fonctions et de ses utilisations dans la société parmi les étudiants. Plusieurs répondants à l'enquête ont noté que l'IA est déjà intégrée dans une série d'interactions interpersonnelles quotidiennes, et ont estimé que les citoyens devraient reconnaître l'existence de l'IA dans les environnements dans lesquels ils évoluent, comprendre ses avantages et ses défis potentiels, et pouvoir se porter garants de la sécurité des technologies d'IA, à la fois sûres, bénéfiques et transparentes. Les trois commentaires suivants, formulés par les représentants du Portugal, de l'Autriche et de la Jordanie, en sont une illustration :

// Nous avons une vision claire de l'impact de la technologie dans le futur, ainsi que de la nécessité d'avoir une main-d'œuvre et des citoyens entretenant un rapport sain avec la technologie au quotidien. Cela inclut les concepts, la sensibilisation et les compétences nécessaires pour améliorer ces domaines, travailler avec les machines et considérer la robotique comme complémentaire à la société –c'est la vue d'ensemble.

L'intelligence artificielle est considérée comme une question transversale qui possède le potentiel de bouleverser des domaines et des concepts-clefs de la vie. Par conséquent, ce n'est pas seulement l'expertise des spécialistes et des développeurs qui est d'une grande importance dans la prise en compte de l'IA dans l'éducation, mais aussi les connaissances générales sur les éléments de base de la part de tous les individus, afin de leur permettre de mener une vie sûre et autonome dans un monde façonné par l'IA.

Le projet global consiste à élaborer un programme de compétences numériques adapté aux évolutions internationales et à la transformation numérique attendue, ainsi qu'à atteindre les compétences numériques mondiales pertinentes dans notre contexte.

## Essais pilotes et évaluation des programmes d'IA

Les programmes gouvernementaux d'IA suivants ont été mis en œuvre et évalués : modélisation informatique, technologies de l'information et informatique, République de Bulgarie ; science et technologie de l'information, Chine ; programme DAILY du MIT ; informatique et programmation, technologies modernes, technique et technologie, Serbie ; programmes auxquels s'ajoute le Cadre des matières technologiques mis en œuvre aux Émirats arabes unis (EAU).

La mise en œuvre des programmes d'enseignement de l'IA non gouvernementaux suivants a également été évaluée : IBM EdTech Youth Challenge ; les deux versions du programme Intel AI for Youth : Global AI Readiness Program ; ainsi que le programme de Microsoft AI Youth Skills.

Certains des programmes ont été revus et modifiés sur la base de cette évaluation, notamment ceux de la Chine, des Émirats arabes unis, d'IBM, d'Intel (les deux versions), de Microsoft et du MIT. Quelques-uns sont encore à l'essai et pourraient être révisés, notamment celui de la Bulgarie, le programme DAILY du MIT et le programme Technique et technologie de la Serbie.

Les méthodologies d'évaluation communes sont les suivantes

- **Examens du programme par des experts.** Par exemple, aux Émirats arabes unis, le programme a été partagé avec différentes parties prenantes du champ social, notamment des universitaires et des spécialistes de l'IA. Des experts en psychologie et en éducation ont procédé à des examens interdisciplinaires.
- **Recherches menées par les concepteurs.** Les méthodologies ont consisté à tester les apprenants et à mener des entretiens et des enquêtes auprès des enseignants et des représentants des départements administratifs régionaux et/ou nationaux. Des informations ont été recueillies sur les résultats de l'apprentissage, l'utilité perçue du programme et les difficultés de mise en œuvre.
- **Évaluation externe.** Certains gouvernements ont commandé des évaluations externes du programme d'études et/ou de ses résultats. La République de Bulgarie a ainsi commandé une évaluation externe nationale qui a mesuré les compétences numériques des apprenants.

Peu de ces études ou de ces évaluations sont publiées. Les entretiens ont fait ressortir un point essentiel : les

programmes scolaires de l'IA doivent être coordonnés avec le programme de mathématiques et les exigences de la classe. Par exemple, une analyse du programme en Chine a déterminé que le niveau d'exigence du programme de sciences et technologies de l'information était supérieur à celui des mathématiques et des sciences, de sorte que les attentes ont dû être modifiées. Le programme d'études devait également tenir compte d'un large éventail de contextes, ainsi que des possibilités et des défis spécifiques des milieux urbains ou ruraux.

Une étude pilote d'une partie du programme DAILY du MIT a révélé que, selon les enseignants, les étudiants semblaient plus impliqués que d'habitude, et que « ce qui est et n'est pas l'IA » était la clef de la compréhension des étudiants. Certains enseignants ont trouvé les modules d'éthique étranges et déroutants, d'autres y ont adhéré. L'utilisation du matériel a été perçue comme la composante la plus difficile à gérer du projet pilote et a nécessité un investissement et une attention importants de la part des enseignants, en particulier lorsque le matériel ne fonctionnait pas correctement ; cela a en tout cas aidé les élèves à acquérir des compétences non négligeables comme la résilience (Williams et al., 2021).

### Exemple. Fondements et principes du développement du programme scolaire au Qatar<sup>16</sup>

La Vision 2030 du Qatar<sup>17</sup> reconnaît que la technologie est un facteur-clef d'une économie moderne fondée sur la connaissance, et le Cadre du programme scolaire national du Qatar (QNCF en anglais) définit l'informatique comme une matière scolaire majeure de la première à la douzième année, qui vise à « soutenir l'apprentissage des enfants en offrant des opportunités bénéfiques dans les domaines de la logique et de la pensée mathématique, du langage et de la communication, de l'alphabétisation émergente et de la créativité ».

En appui à ces politiques nationales, des normes ont été définies comme base du programme national d'informatique et de technologies de l'information grâce à une collaboration entre des experts du secteur, l'équipe d'experts en TIC du ministère qatarien de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, et les responsables des TIC dans les établissements primaires, préparatoires et secondaires. Les normes ont été examinées par les experts en informatique et les experts en développement de programmes de trois

<sup>16</sup> Les informations contenues dans cette section sont tirées du programme d'enseignement de l'informatique et des technologies de l'information du Qatar (Qatar Computing and Information Technology Curriculum, 2018), élaboré par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du pays. Elles peuvent être fournies sur simple demande par courriel.

<sup>17</sup> Voir <https://www.gco.gov.qa/en/about-qatar/national-vision2030>

établissements d'enseignement supérieur du pays. Les curriculums élaborés dans le cadre de ces normes comprennent une filière universelle obligatoire pour tous les niveaux scolaires et une filière facultative « haute technologie » pour les établissements secondaires supérieurs. Les deux filières intègrent des résultats d'apprentissage de l'IA liés aux algorithmes, à la programmation, à l'éthique et à l'impact social, ainsi qu'à la compréhension et à l'utilisation des outils et des technologies de l'IA. Les élèves de la filière high-tech participent également au développement de technologies d'IA.

Revoir les normes régulièrement constitue un objectif, pour s'assurer qu'elles reflètent les technologies et les tendances du moment en matière d'informatique et de TI. S'assurer que le programme scolaire ne dépend pas de technologies, de plateformes ou d'applications spécifiques constitue une autre étape vers la garantie de la durabilité des normes dans le temps. Le cadre du programme suggère en outre d'intégrer les commentaires des enseignants et l'analyse des meilleures pratiques internationales afin d'apporter des ajustements supplémentaires qui renforcent son efficacité.

L'élaboration des normes du programme d'enseignement de l'informatique et des technologies de l'information du Qatar a été guidée par cinq grands principes :

1. Un alignement du programme scolaire sur le cadre national, y compris les « compétences, valeurs, objectifs, principes et questions transversales », les compétences étant explicitement liées aux normes nationales. Le programme d'études couvre les connaissances, les compétences et les attitudes en mettant l'accent sur :
  - les principes et pratiques de l'informatique, à savoir la programmation, la robotique et l'IA ;
  - la culture numérique, définie dans le programme comme « l'utilisation et l'application créatives et productives des systèmes informatiques », y compris les aspects de l'éthique, de la propriété intellectuelle et de l'e-sécurité ;
  - la promotion des compétences générales, en l'occurrence celles définies par l'American Association of School Librarians : collaboration, communication, travail d'équipe, pensée critique, résolution de problèmes et prise de décision.
2. Un développement « en spirale », de sorte que les concepts réapparaissent à différents niveaux scolaires avec une difficulté croissante et une plus grande portée à chaque itération. Dans le même temps, le développement des compétences doit être cohérent et efficace, afin d'éliminer les répétitions inutiles et les lacunes scolaires.
3. Un apprentissage centré sur l'élève et des approches pratiques basées sur des projets. La pensée informatique est un élément central, et il est attendu des élèves qu'ils mettent à profit le processus d'abstraction, d'automatisation et d'analyse en tant que nouvelle approche de la résolution de problèmes, en commençant par comprendre les principes de base de la pensée informatique en première année.
4. Une indépendance par rapport au langage informatique, au matériel et à la plateforme, ce qui signifie que le programme ne dépend pas d'un fournisseur, d'une marque ou d'un langage de programmation en particulier, mais cherche à couvrir une large gamme d'outils et de technologies que les élèves rencontrent dans la vie réelle.

## Intégration et gestion des programmes scolaires

Les curriculums sont intégrés dans les systèmes éducatifs existants via un certain nombre de modèles différents :

- **Les programmes d'IA spécifiques** sont élaborés en tant que matière indépendante dans le cadre du programme d'enseignement national ou local. Ces programmes ont leurs propres volumes horaires, leurs propres manuels et ressources, comme dans le cas des Fondements de l'IA en Chine dans le cadre des Sciences et Technologies de l'Information pour les classes 10 à 12.
- **Les programmes d'IA intégrés** sont développés et contenus dans d'autres types de matières dans le cadre des programmes scolaires nationaux ou locaux. Le plus souvent, l'IA devient un sujet dans le cadre des TIC ou de l'informatique, mais elle peut aussi relever des langues, des mathématiques, des sciences ou de l'ingénierie (voir la **figure 1**). En République de Corée, deux sujets facultatifs sur l'IA ont été développés, l'un faisant partie de l'ensemble « mathématiques » et l'autre de « technologie et économie domestique ». Les programmes peuvent également être conçus pour être intégrés de manière souple dans n'importe quelle matière, en fonction des capacités et de l'intérêt des enseignants. C'est le cas du programme DAILY du MIT.
- **Les programmes interdisciplinaires d'enseignement de l'IA** sont mis en œuvre dans des systèmes ayant des consignes particulières pour le travail interdisciplinaire et les horaires correspondants. Ces programmes

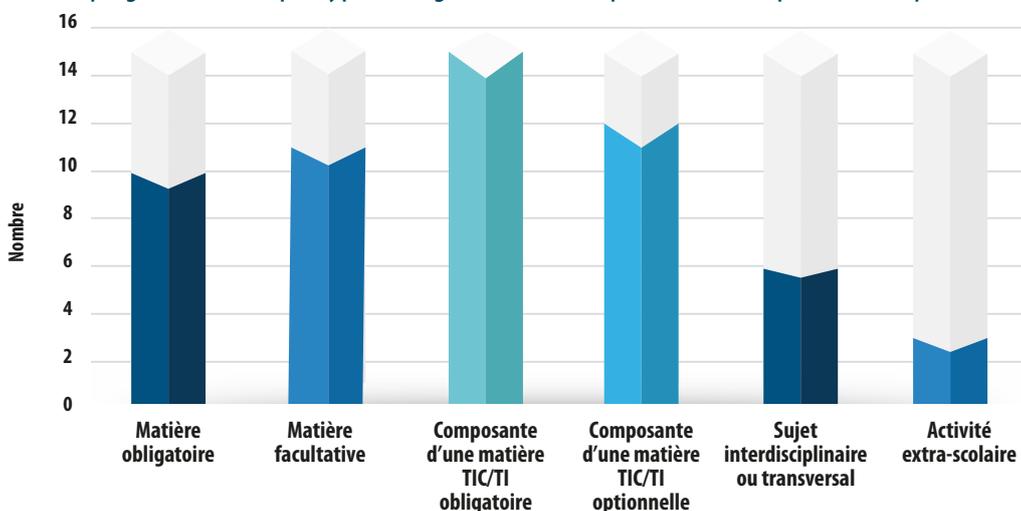
ciblent les résultats de l'apprentissage de l'IA par le biais d'un apprentissage par projet impliquant plusieurs matières. On en trouve un exemple dans les cadres des programmes d'études du Portugal, qui comportent des « domaines autonomes », avec des projets qui doivent mobiliser deux ou trois disciplines dans une approche interdisciplinaire. Aux Émirats arabes unis, l'IA est intégrée dans une série de matières, notamment les TIC, les sciences, les mathématiques, les langues, les études sociales et l'éducation morale.

- **Les programmes d'IA à modalités multiples** comportent des exigences fondamentales qui sont mises en œuvre pendant le temps d'enseignement et soutenues par des ressources traditionnelles telles que des guides de l'animateur et des manuels scolaires, mais qui tirent également parti des possibilités d'apprentissage informel comme les réseaux de ressources extrascolaires et les concours nationaux ou internationaux. On peut citer par exemple le programme d'IA IBM-CBSE pour les classes XI et XII, qui prévoit une transition progressive de l'apprentissage guidé à l'apprentissage indépendant et des liens avec les concours et le mentorat industriel.

- **Les programmes flexibles d'IA** peuvent être mis en œuvre par le biais d'un ou plusieurs mécanismes d'intégration, selon la volonté des régions, des réseaux d'écoles ou d'un établissement spécifique. Citons par exemple le programme de modules d'IA ATL en Inde, qui peut être intégré, interdisciplinaire ou dispensé via des dispositifs extrascolaires tels que des activités parascolaires, ou encore les compétences numériques en Arabie saoudite, qui peuvent être mises en œuvre en tant que programme distinct ou intégré. Pour certains programmes, les mécanismes d'intégration sont laissés à la discrétion des régions, des écoles ou des réseaux. Il s'agit notamment, en l'occurrence, du référentiel informatique de la Belgique francophone (transition technique des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> degrés) et du programme *Algorithmen erkennen und formulieren* [Identifier et formuler des algorithmes] en Allemagne.

Les programmes d'études peuvent également être obligatoires, ce qui signifie que tous les étudiants doivent y participer, ou facultatifs, ce qui signifie que les étudiants choisissent d'y participer ou non. Dans certains programmes, comme celui des sciences et technologies de l'information en Chine, certains modules sont obligatoires et d'autres sont facultatifs.

Figure 1. Nombre de programmes d'IA par type d'intégration (n = 27, possibilité de réponses multiples)



Source : UNESCO (2021b)

Durant l'enquête, un point important a été soulevé : les programmes relatifs à l'IA, et plus largement aux TIC, ne devraient pas être tributaires d'une technologie particulière : il est en effet important de diversifier les compétences développées sur différentes plateformes et auprès de différents fournisseurs. Certains pays, comme l'Autriche et la Chine, mettent l'accent sur une « approche agnostique » de la technologie, ce qui signifie que le programme scolaire n'est pas lié à des marques, des dispositifs ou des langages de programmation particuliers. Ces programmes visent

donc à garantir (i) que la formation des enseignants est fermement ancrée dans la théorie, ce qui permet de comprendre les principes sous-jacents qui peuvent être appliqués à toute une série de technologies ; (ii) que si un matériel ou un logiciel particulier est utilisé, les enseignants et les apprenants sont initiés à des choix multiples et sont liés à différents fournisseurs d'outils d'IA.

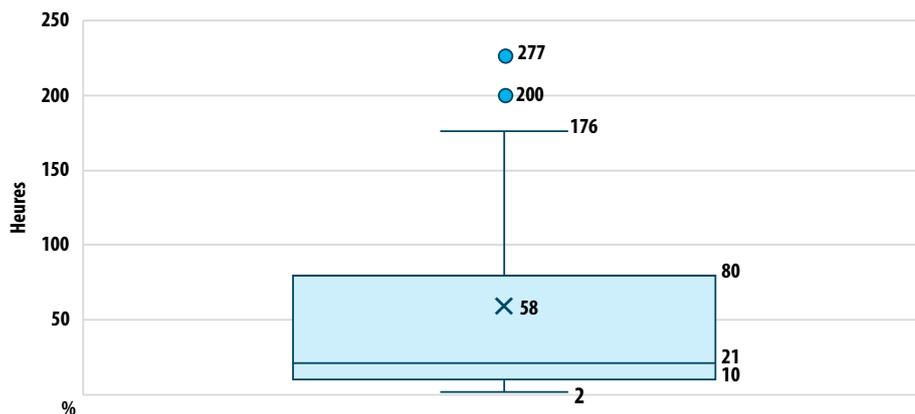
## Répartition des heures de cours

Il a été demandé aux personnes interrogées de fournir le nombre total d'heures d'apprentissage pour chacun des quatre niveaux scolaires : le primaire précoce, couvrant les classes K-2 ; le primaire tardif, couvrant les classes 3 à la fin de l'école primaire ; le collège, couvrant les classes 7 à 9 dans la plupart des pays ; le lycée ou

l'école secondaire, couvrant les classes 10 à 12 dans la plupart des pays.

Le temps total alloué aux programmes varie entre 2 et 924 heures, réparties sur 1 à 12 niveaux scolaires. Un *boxplot*<sup>18</sup>, graphique du volume horaire par niveau scolaire (voir la **figure 2**), montre que les attributions varient considérablement.

Figure 2. Programmes d'IA : volumes horaires par année, n = 22



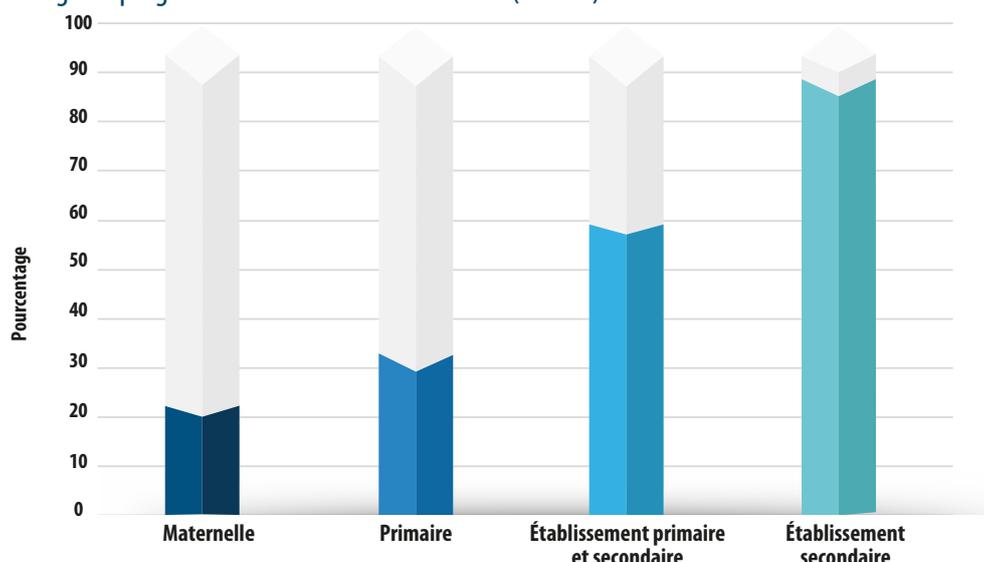
Source : UNESCO (2021b)

Deux cas particuliers, à savoir le programme de l'informatique et des technologies de l'information (*High Tech Track*) au Qatar et le programme du référentiel informatique en Belgique, représentent une moyenne de plus de 200 heures par an. La moyenne de 58 heures est plus de deux fois supérieure à la médiane de 21 heures, ce qui révèle l'existence d'un groupe de programmes d'études nécessitant relativement peu d'heures impliquant l'IA. 5 des 22 programmes d'études qui ont fourni des attributions de temps exigent en effet moins de 5 heures d'étude de l'IA par an, tandis que 5 autres exigent 150 heures ou plus.

Les programmes exigeant 150 heures ou plus sont soit des programmes développés par l'industrie (2 sur 5), soit des programmes optionnels de haute technologie (également 2 sur 5). Ceux qui proposent peu d'heures d'étude de l'IA sont tous intégrés à d'autres matières.

Les programmes sont plus susceptibles de cibler les apprenants de l'enseignement supérieur ou du lycée, et la proportion de programmes impliquant chaque niveau d'enseignement augmente régulièrement du début de l'enseignement primaire jusqu'aux classes supérieures (voir la **figure 3**).

<sup>18</sup> Les *boxplots* montrent la distribution des données, notamment la valeur minimale, la valeur du premier quartile, la valeur médiane, la valeur du troisième quartile et la valeur maximale. La valeur moyenne est affichée sous la forme d'un X, et les cas particuliers (les outliers ou valeurs aberrantes) apparaissent sous la forme de points au-dessus du *boxplot*.

**Figure 3.** Pourcentage de programmes selon le niveau scolaire (n = 27)

Source : UNESCO (2021b)

Le nombre total d'heures consacrées aux programmes d'études par niveau scolaire varie de 1 à 680 heures. Dans les classes de la maternelle à la 2<sup>e</sup> année, l'IA est le plus souvent intégrée à d'autres matières et ne bénéficie d'aucun horaire spécifique. Au Qatar, seules l'informatique et les technologies de l'information consacrent un temps déterminé à la maternelle et au secondaire, de 100 heures au total. De la 3<sup>e</sup> à la 6<sup>e</sup> année, on relève une moyenne de 156 heures. Le temps moyen consacré à l'ensemble de l'école intermédiaire (de la 7<sup>e</sup> à la 9<sup>e</sup> année) s'élève à 109 heures, et pour les écoles secondaires (de la 10<sup>e</sup> à la 12<sup>e</sup> année), la moyenne s'établit à 153,5 heures. Le nombre moyen d'heures par classe reste relativement stable dans les écoles maternelles et élémentaires : 33,3 heures dans les écoles

maternelles et élémentaires, 39 heures dans les écoles élémentaires et élémentaires, et 36,3 heures dans les écoles élémentaires et élémentaires. Dans les écoles secondaires, le nombre moyen d'heures par classe passe à 51,2 heures.

### Conditions essentielles pour soutenir les programmes d'IA

Il a été demandé aux répondants à l'enquête comment les conditions essentielles pour soutenir la conception et la mise en œuvre du programme d'IA ont été planifiées et préparées. Les sept options présentées dans le questionnaire sont décrites dans le **tableau 7**. Les réponses multiples étaient possibles, et une option de réponse libre était également proposée.

**Tableau 7.** Conditions essentielles pour développer les programmes d'IA

Possibilités de réponse	Commentaire
Recherche ou analyse des besoins	Se réfère uniquement à la recherche ou à une analyse des besoins liés à la mise en œuvre du programme d'études.
Création et développement de ressources pour les enseignants	Manuels scolaires et plans de cours cités en exemple.
Formation des enseignants	Les répondants ont été interrogés sur la formation spécifique au programme de l'IA et sur les ressources qui l'accompagnent.
Embauche de personnel/capacité supplémentaire	Recrutement d'un plus grand nombre d'enseignants rémunérés pour mettre en œuvre le programme d'études.
Implication du secteur privé ou du tiers secteur	Au lieu ou bien en plus du personnel scolaire supplémentaire, certains pays ont engagé des organisations du secteur privé ou du tiers secteur comme formateurs à temps partiel dans ou pour les écoles.
Amélioration des infrastructures dans les écoles	Se réfère à la fourniture de matériel et/ou de connexions Internet pour les écoles en relation avec le programme d'enseignement de l'IA ; cela inclut des éléments tels que les laboratoires informatiques et les serveurs.
Acquisition de ressources supplémentaires pour les écoles ou les classes	Achat de kits de classe, de ressources de codage, d'outils d'IA, etc.

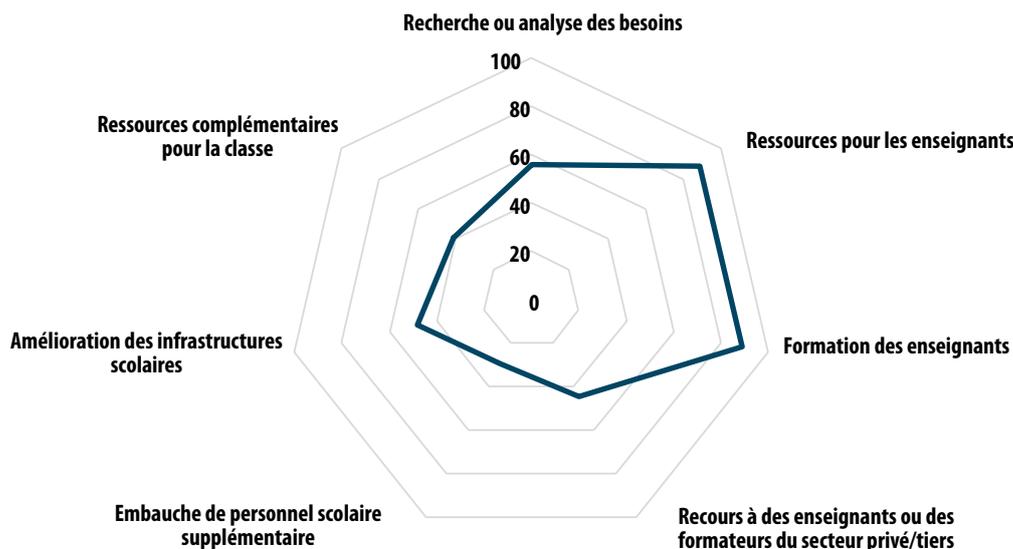
Source : UNESCO (2021b)

Les réponses montrent que la mise en œuvre d'un programme d'enseignement de l'IA nécessite une série de réajustements des ressources et des capacités humaines relatives aux systèmes éducatifs (voir la **figure 4**).

La majorité des programmes ont été soutenus par le développement de ressources et de formations pour les enseignants (89 %) ; 15 (56 %) par des recherches préliminaires ou une analyse des besoins ; 13 (48 %) par des investissements dans la modernisation des

infrastructures scolaires ; 12 (44 %) par l'engagement du secteur privé ou du tiers secteur ; 11 (41 %) par l'acquisition de ressources complémentaires pour les salles de classe. Le domaine le moins mis en avant est le recrutement de personnel scolaire supplémentaire pour la mise en œuvre du programme, mais il s'agit tout de même d'une activité notable signalée pour 8 des programmes d'IA inclus dans cette étude (30 %).

**Figure 4. Soutien à la mise en œuvre**



Source : UNESCO (2021b)

### Exemple. L'introduction de l'IA par le CBSE en Inde<sup>19</sup>

Le Conseil central de l'enseignement secondaire (en anglais *CBSE, Central Board of Secondary Education*) de l'Inde a annoncé en 2019 que l'IA était une matière facultative dans les écoles relevant de sa compétence, à savoir plus de 22 000 établissements. L'objectif est que les futurs citoyens indiens comprennent l'IA et soient capables de la déployer pour résoudre des problèmes locaux et mondiaux. Le programme est ainsi axé sur « l'apprentissage par la pratique » et offre aux élèves la possibilité de se former à l'IA en l'utilisant pour élaborer des solutions aux défis de la communauté (CBSE, 2020).

Pour soutenir le programme, le CBSE s'est associé à des fournisseurs de l'industrie, notamment IBM, Intel et Microsoft, afin de développer du matériel et du contenu de formation et de soutien. Des ONG accompagnent également la mise en œuvre du programme<sup>20</sup>. Pour préparer cette mise en œuvre, une formation des

enseignants et autres formateurs, ainsi que du matériel, notamment des guides de l'animateur, des plans de cours multidisciplinaires et des manuels, ont été créés pour les niveaux 8 à 12. Le CBSE a également organisé un certain nombre d'événements dans le but général de « faciliter l'intégration de l'IA dans les écoles ». Il s'agissait notamment de concours, de webinaires destinés à donner aux jeunes l'occasion d'explorer les technologies de l'IA, et de camps de trois jours « AI-thon » où les étudiants exécutent un cycle de conception de projet et de prototype en utilisant l'IA pour résoudre un défi communautaire défini. Plus de 10 000 enseignants et 120 000 étudiants ont été formés à l'IA grâce à des activités de partenariat comme celles-ci.

Le programme relatif à l'IA est intégré en tant que matière facultative ou interdisciplinaire dans des écoles auto-sélectionnées. Le CBSE diffuse une circulaire auprès de toutes les écoles pour les inviter à participer à ce programme, et les administrateurs des établissements soumettent une demande au CBSE en réponse à

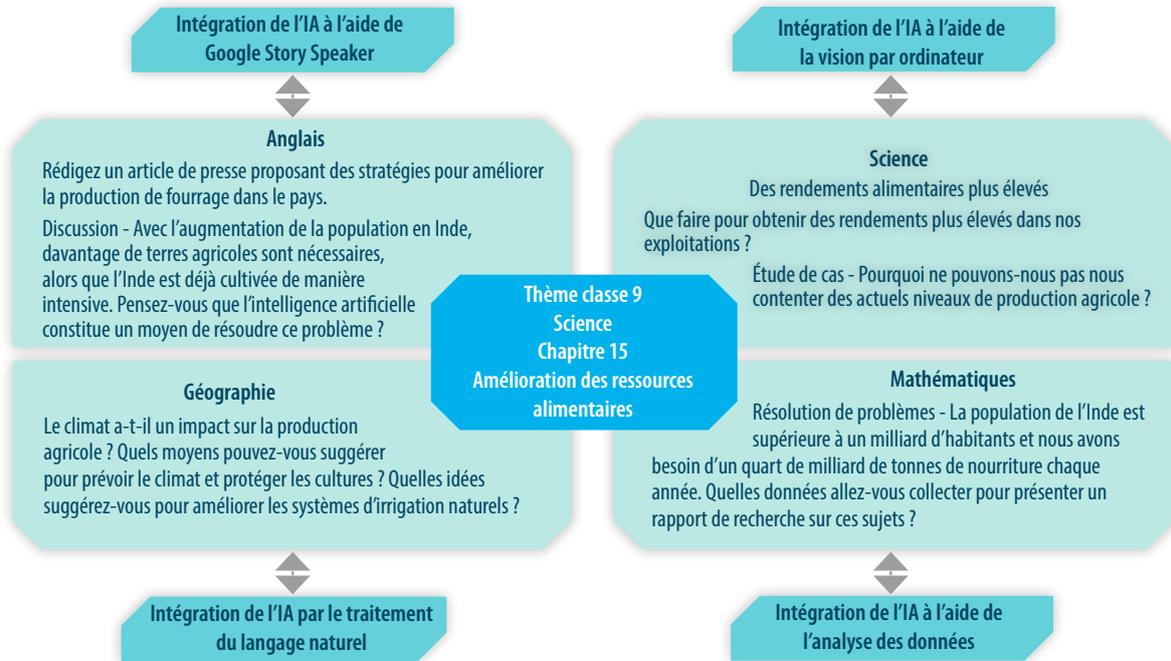
<sup>19</sup> Sources : CBSE Artificial Intelligence (ministère de l'Éducation, Inde, 2020) ; Artificial Intelligence Curriculum, Class 9 Facilitator Handbook (CBSE et Intel, 2019) ; entretiens avec des représentants d'IBM, d'Intel, de la Fondation 1M1B et de Microsoft, et présentations de ceux-ci. NB : ces informations peuvent ne pas représenter le point de vue officiel du gouvernement de l'Inde.

<sup>20</sup> Par exemple, 1M1B soutient la mise en œuvre du programme AI Youth Skills en partenariat avec le CBSE et IBM. Voir <https://www.youtube.com/watch?v=wKl5pghClFY>

cette invitation. Les écoles sélectionnent ensuite les enseignants à former, planifient l'intégration de l'IA dans les emplois du temps et élaborent des stratégies autour de l'intégration interdisciplinaire de l'IA sur la base de

thèmes communs, tels que « l'amélioration des ressources alimentaires », qui constitue l'exemple de la **figure 5** (CBSE et Intel, 2019).

**Figure 5.** Approche thématique de l'intégration interdisciplinaire de l'IA dans le programme

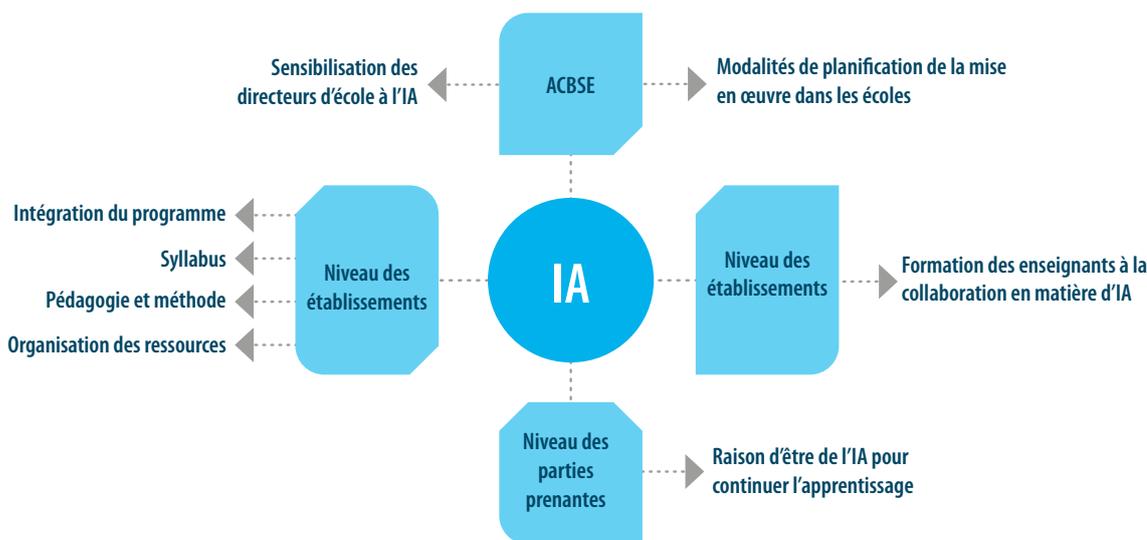


Source : CBSE et Intel (2019)

Au niveau des établissements, la formation des enseignants est soutenue par l'industrie et/ou les partenaires associés à la mise en œuvre, qui utilisent des cours et du matériel sur mesure. Divers fournisseurs, tels qu'IBM et Microsoft, ont élaboré des manuels scolaires conformes aux objectifs du programme CBSE. L'intégration du programme, le « syllabus », la pédagogie, l'approche et l'acquisition des ressources nécessaires sont également gérés au niveau institutionnel. En outre, il est attendu des écoles

qu'elles impliquent les différentes parties prenantes, en particulier les étudiants et les parents, pour s'assurer qu'ils comprennent la logique et les objectifs de l'intégration de l'IA dans le programme. La **figure 6** décrit la relation entre le CBSE, les établissements et les parties prenantes.

Figure 6. Acteurs et procédures de mise en œuvre de l'IA



Source : CBSE et Intel (2019)

## Contenu du programme d'AI

### Principales catégories de contenu du programme concernant l'IA

Cette analyse aborde neuf thèmes des programmes d'enseignement de l'IA : les algorithmes et la programmation, la connaissance des données, la résolution de problèmes contextuels, l'éthique de l'IA, les implications sociétales de l'IA, les applications de l'IA à d'autres domaines, la compréhension et l'utilisation des techniques d'IA, la compréhension et l'utilisation

des technologies d'IA, et enfin le développement de l'IA.

Comme le montre le **tableau 8**, ces neuf sujets sont regroupés en trois catégories : fondations de l'IA ; éthique et impact social ; compréhension, utilisation et développement de l'IA. Les répondants à l'enquête ont été invités à fournir des informations sur les volumes horaires (temps et pourcentage) alloués à ces domaines thématiques, qui sont présentés dans le **tableau 9**.

Tableau 8. Domaines du curriculum d'AI

Catégorie	Domaine thématique	Réflexions relatives aux compétences et au programme d'études
Bases de l'IA	<b>Algorithmes et programmation</b>	Avec la maîtrise des données, les algorithmes et la programmation peuvent être considérés comme la base de l'entrée technique dans l'IA.
	<b>Connaissance des données</b>	La majorité des applications d'intelligence artificielle fonctionnent à partir de « données massives » (big data). La gestion du cycle des données, de la collecte au nettoyage, à l'étiquetage, à l'analyse et à l'établissement de rapports, constitue l'une des bases de l'engagement technique dans l'utilisation et/ou le développement de l'IA. Une compréhension des données et de leurs fonctions peut également aider les étudiants à comprendre les causes de certains des défis éthiques et logistiques liés à l'IA et à son rôle dans la société.
	<b>Résolution de problèmes contextuels</b>	L'IA est souvent présentée comme une solution potentielle à des défis commerciaux ou sociaux. S'engager à ce niveau nécessite un cadre pour la résolution de problèmes en contexte, englobant des éléments tels que la pensée conceptuelle et l'apprentissage par projet.

Catégorie	Domaine thématique	Réflexions relatives aux compétences et au programme d'études
Éthique et impact social	L'éthique de l'IA	Quelle que soit leur expertise technique, les étudiants des sociétés futures seront confrontés à l'IA dans leur vie personnelle et professionnelle – beaucoup le sont déjà dès leur plus jeune âge. Il sera important que chaque citoyen comprenne les défis éthiques de l'IA ; ce que l'on entend par « IA éthique » ; des concepts tels que l'utilisation transparente, vérifiable et équitable de l'IA ; et les voies de recours en cas d'utilisation contraire à l'éthique ou illégale de l'IA, par exemple celle qui contient des préjugés nuisibles ou viole le droit à la vie privée.
	Les implications sociales ou sociétales de l'IA	Les impacts sociaux de l'IA vont de la nécessité d'adapter les cadres juridiques en matière de responsabilité à la transformation de la main-d'œuvre. Les répondants à l'enquête ont été interrogés sur la mesure dans laquelle leurs programmes d'études ciblent ces questions. Des tendances telles que le déplacement de la main-d'œuvre, la modification des cadres juridiques et la création de nouveaux mécanismes de gouvernance ont été citées en exemple.
	Applications de l'IA à d'autres domaines que les TIC	L'IA possède un large éventail d'applications en dehors de l'informatique. L'enquête demandait aux participants si et dans quelle mesure les applications de l'IA dans d'autres domaines étaient envisagées. L'art, la musique, les études sociales, les sciences et la santé ont été cités à titre d'exemples.
Comprendre, utiliser et développer l'IA	Comprendre et utiliser les techniques d'IA	Ce domaine comprend (1) le degré de compréhension théorique des processus d'IA (par exemple, la définition ou la démonstration de modèles, ou l'étiquetage de parties d'un modèle d'apprentissage automatique) ; (2) le degré d'utilisation par les étudiants d'algorithmes d'IA existants pour produire des résultats (par exemple, l'entraînement d'un classificateur). L'apprentissage automatique en général, l'apprentissage supervisé et non supervisé, l'apprentissage par renforcement, l'apprentissage profond et les réseaux neuronaux ont été cités comme exemples de techniques d'IA.
	Comprendre et utiliser les technologies d'IA	Les technologies d'IA sont souvent des applications en contact avec l'homme qui peuvent être proposées « en tant que service ». Le traitement automatique du langage naturel (NLP en anglais) et la vision par ordinateur ont été citées comme exemples. Les répondants ont été interrogés sur la mesure dans laquelle les apprenants ont utilisé les technologies d'IA existantes pour accomplir des tâches ou des projets, et/ou ont étudié les processus de création de ces technologies.
	Développer des technologies d'IA	Le développement de technologies d'IA traite de la création de nouvelles applications d'IA susceptibles de relever un défi social ou de fournir un nouveau type de service. Il s'agit d'un domaine spécialisé qui requiert la connaissance d'une série de techniques complexes et des compétences en codage, en mathématiques (notamment en statistiques) et en science des données.

Source : UNESCO (2021b)

## Répartition du temps pour les catégories du programme d'AI

Notons d'abord qu'il existe un certain degré d'ambiguïté quant à ce qui pourrait être considéré comme faisant partie du programme d'enseignement de l'IA. Pour les pays où l'IA est intégrée dans les programmes d'enseignement des TIC, en particulier, les répondants peuvent ne pas inclure la maîtrise des données, ou les algorithmes et la programmation, comme faisant partie de la composante IA parce qu'ils considèrent qu'elle est traitée par le programme relevant des TIC. Cela affecte également les réponses en termes de répartition d'heures, qui pour certains programmes d'études peuvent ne pas inclure tous les aspects liés à l'IA. Par conséquent, les réponses à cette section doivent être interprétées comme le contenu de l'IA dans un programme donné ou une composante d'un programme donné selon les connaissances des répondants.

Pour les programmes pilotés par le gouvernement, les représentants officiels ont fourni leurs estimations sur le pourcentage de temps alloué en se basant sur leur connaissance du curriculum et du système éducatif.

Certaines personnes interrogées n'ont pas été en mesure d'estimer les pourcentages en raison de la décentralisation des décisions relatives à la répartition du temps ou à l'intégration des matières. De plus, pour certains programmes, notamment ceux d'IBM, Intel, Microsoft et MIT, les pourcentages ont été calculés par les chercheurs à partir du contenu du programme fourni : ce ne sont pas les estimations des répondants.

Enfin, tous les pourcentages des programmes ne s'additionnent pas pour donner 100 %, et tous les pays n'ont pas répondu aux demandes de clarification ou n'ont pas fourni d'informations supplémentaires sur ces défis dans les enquêtes de suivi. Par conséquent, pour certains curriculums, le pourcentage et/ou le temps alloué sont « non spécifiés ».

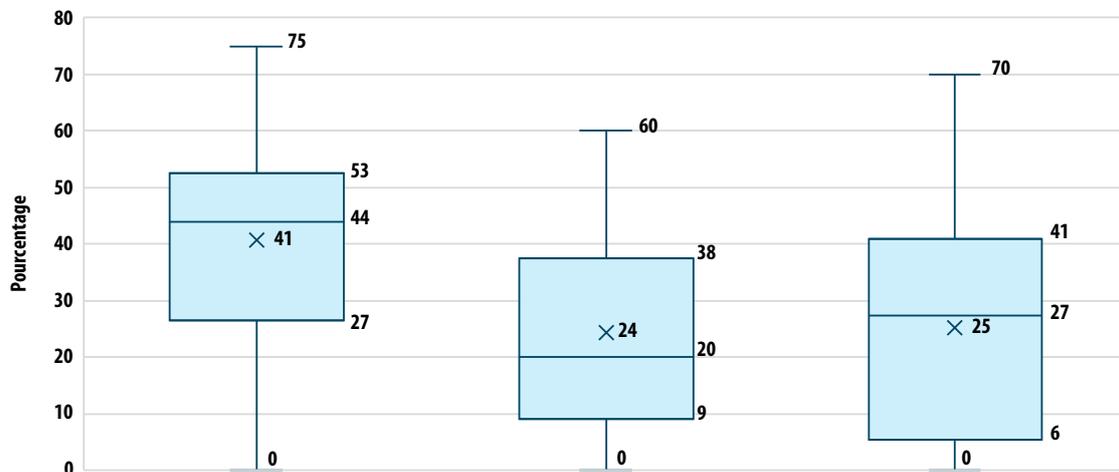
## Traitement des catégories du programme d'IA

Les « fondements de l'IA », qui couvrent les algorithmes et la programmation, la connaissance des données et la résolution de problèmes contextuels, constituent la base de la plupart des programmes d'enseignement, représentant une moyenne combinée de 41 % du

temps d'enseignement. Le temps restant est réparti presque également entre l'éthique et l'impact social d'une part (24 % des heures en moyenne), d'autre part

la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA (25 % en moyenne). La **figure 7** présente une comparaison de ces trois domaines.

**Figure 7.** Boîte à moustaches des domaines cibles en fonction des volumes horaires en pourcentage (n = 21)<sup>21</sup>



Source : UNESCO (2021b)

Si l'on considère le nombre total d'heures consacrées à ces programmes plutôt que le pourcentage, il apparaît clairement que la part de loin la plus importante est consacrée aux fondations de l'IA. Ce domaine est

plus que trois fois supérieur à celui de l'éthique et de l'impact social et plus que le double de celui de la compréhension, de l'utilisation et du développement de l'IA (voir **tableau 9**).

**Tableau 9.** Présence dans le programme scolaire par thème

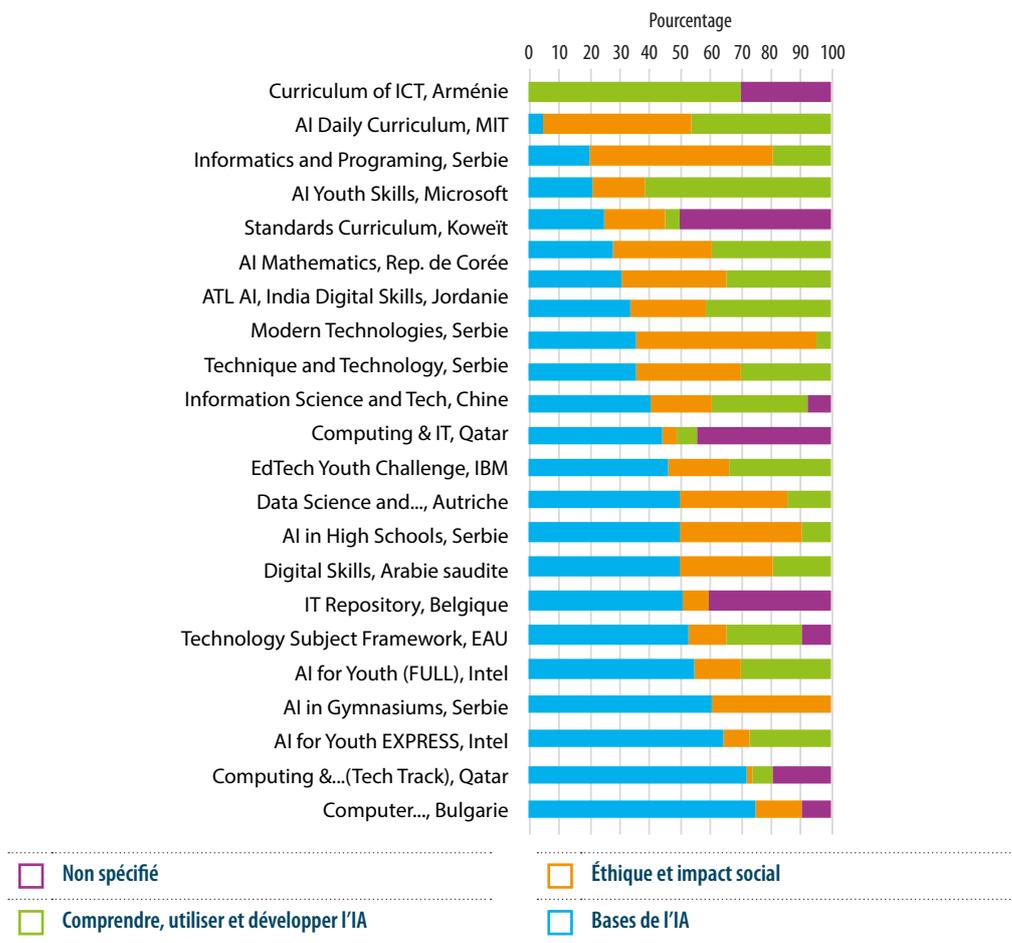
	Bases de l'IA	Éthique et impact social	Comprendre, utiliser et développer l'IA
Nombre de programmes d'études abordant le sujet (n = 21)	20	20	18
Fourchette d'heures	0–432	0–185	0–465
Engagement horaire moyen (tous)	99,8	29,7	39,0
Engagement horaire moyen (pour ceux qui ont des attributions)	104,8	31,2	45,5
Engagement médian en heures (pour ceux qui ont des attributions)	31,3	13,7	11,9

Source : UNESCO (2021b)

L'écart de la **figure 8** et la fourchette du **tableau 8** le montrent, les programmes ne se concentrent pas tous sur la même chose : les fondements de l'IA représentent de 0 à 75 % du temps alloué au programme, l'éthique et l'impact social de 0 à 60 %, et la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA de 0 à 70 %.

<sup>21</sup> Les pourcentages attribués à un programme de la République de Corée et au programme du Territoire du Yukon au Canada n'ont pas été communiqués.

Figure 8. Répartition du temps de cours par thème (n = 23)



Source : UNESCO (2021b)

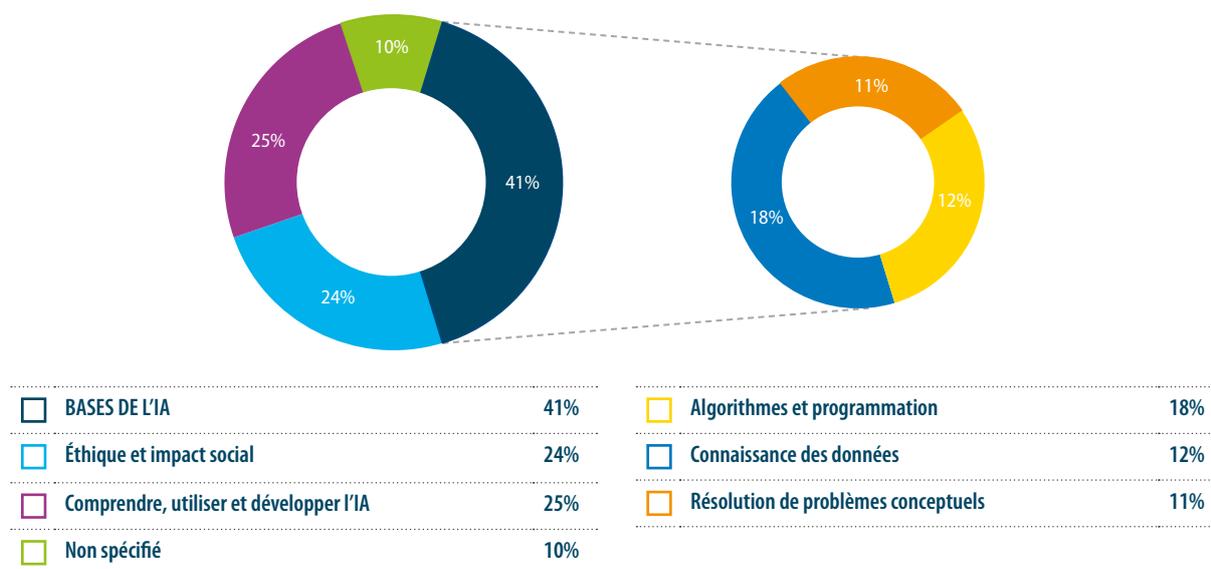
Compte tenu des répartitions en heures et en pourcentage, nous pouvons observer que les programmes axés sur l'éthique et l'impact social sont généralement plus courts que les programmes qui privilégient les bases de l'IA ou la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA. Examinons maintenant plus en détail les sous-thèmes inclus dans chaque domaine.

### Les bases de l'IA

La catégorie des bases de l'IA, de ses fondements, comprend la connaissance des données, les algorithmes et la programmation, et la résolution de problèmes contextuels. Dans l'ensemble, les bases

de l'IA représentent 41 % du temps total alloué à la matière, la plus grande partie de ce temps étant consacrée aux algorithmes et à la programmation, suivis, dans des proportions presque égales, par la connaissance des données et la résolution de problèmes contextuels.

Un seul programme n'a pas octroyé de temps à la catégorie des bases de l'IA : c'est le programme de TIC de la République d'Arménie. Il attribue un total de 7 heures à l'IA dans le cadre de la matière TIC obligatoire enseignée au collège et au lycée. La figure 9 fournit une vue détaillée des composantes des bases de l'IA et du pourcentage de temps qui leur est attribué.

**Figure 9.** Pourcentage de temps attribué aux bases de l'IA (n = 21)


Source : UNESCO (2021b)

Le domaine des algorithmes et de la programmation est abordé par 21 programmes d'études sur 23, les exceptions étant le programme en matière de TIC de l'Arménie et le programme EdTech Youth Challenge d'IBM. Six autres programmes consacrent 10 % ou moins du temps d'enseignement de l'IA à ce domaine. À l'autre extrémité du spectre, le programme de modélisation informatique, de technologie de l'information et d'informatique de la République de Bulgarie consacre 65 % du temps d'enseignement à ce sujet. Dans l'ensemble, les programmes sont moins

susceptibles de faire appel à la résolution de problèmes contextuels. Toutefois, les programmes qui incluent la résolution de problèmes contextuels y consacrent en moyenne 42,5 heures. Ces programmes constituent des cas particuliers, qui investissent fortement dans la résolution de problèmes contextuels dans le cadre d'un cycle d'apprentissage par projet. Le **tableau 10** montre le nombre de programmes couvrant chacun de ces domaines, ainsi que les fourchettes d'heures et le temps moyen qui y est consacré.

**Tableau 10.** La catégorie des fondements de l'IA par domaine thématique : implication dans le programme d'études

	Algorithmes et programmation	Résolution de problèmes conceptuels	Connaissance des données
Nombre couvrant le sujet (n = 21)	19	14	17
Fourchette d'heures	0 – 269	0 – 198	0 – 78
Engagement horaire moyen (tous)	50,0	28,3	21,5
Engagement horaire moyen (pour ceux qui ont des attributions)	55,3	42,5	26,5
Engagement médian en heures (pour ceux qui ont des attributions)	10,8	18,6	25,5

Source : UNESCO (2021b)

### Éthique et impact social

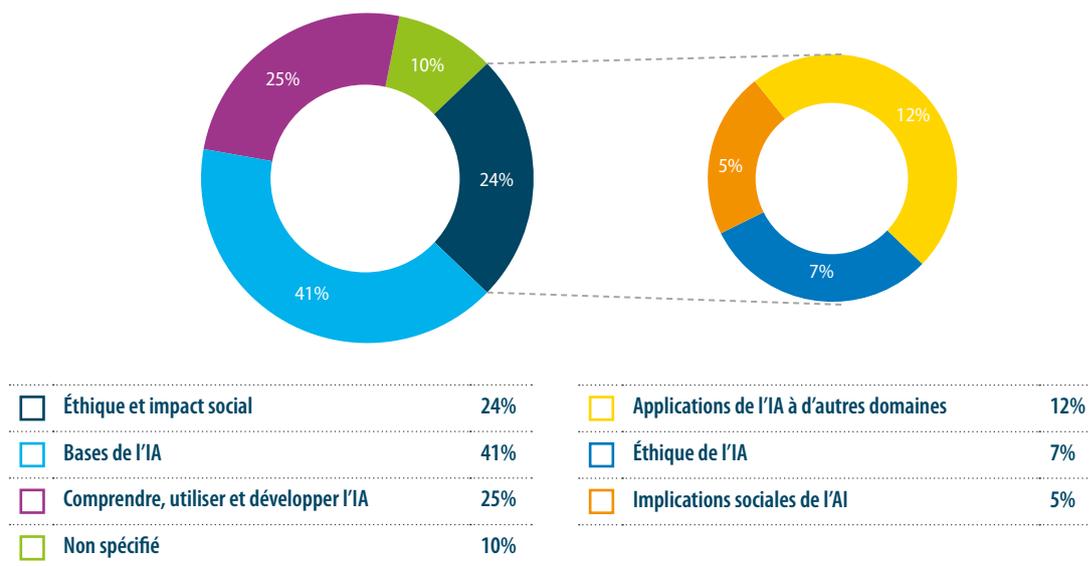
Les sujets de la catégorie « éthique et impact social » comprennent l'éthique de l'IA, les implications sociales de l'IA et les applications de l'IA à d'autres domaines, ce dernier point étant particulièrement pertinent pour les interactions quotidiennes que les enfants et les adultes auront avec l'IA.

Dans l'ensemble, cette catégorie représente en moyenne 24 % du contenu, mais avec un large éventail d'investissement en temps, allant d'une absence totale (0 heure) dans le programme d'enseignement des TIC de l'Arménie à 185 heures dans le programme d'enseignement des normes du Koweït. En pourcentage, l'informatique et les technologies de l'information (High Tech Track) du Qatar y ont consacré moins de 5 % de temps d'enseignement, tandis qu'à l'autre bout du spectre, le programme d'informatique et

de programmation de la Serbie et les compétences numériques de la Jordanie ont consacré 60 % du temps disponible à ce sujet. Toutefois, en termes d'heures, le programme du Qatar accorde 12 heures à cette catégorie, tandis que ceux de la Serbie et de la Jordanie n'en allouent que 2.

Quand on examine les champs thématiques de cette catégorie, il apparaît clairement que la moitié du temps est consacrée aux applications de l'IA dans d'autres domaines, avec une moyenne globale de 5 % pour les implications sociales et de 7 % pour l'éthique (voir **figure 10**). Il convient de noter que dans les deux programmes d'études du Qatar, les applications de l'IA à d'autres domaines sont abordées dans le cadre des mathématiques, des langues et des sciences, sans que le pourcentage d'engagement dans ce domaine soit précisé.

**Figure 10.** Pourcentage consacré à l'éthique et l'impact social (n = 21)



Source : UNESCO (2021b)

En moyenne, moins d'heures ont été consacrées à l'éthique et à l'impact social qu'aux fondements de l'IA, et le pourcentage de temps alloué à des applications de l'IA à d'autres domaines est bien plus élevé que celui de l'éthique ou des implications sociales. Cependant, une analyse plus poussée montre que cet écart est dû à la combinaison d'un nombre moins élevé de programmes abordant ces deux derniers sujets et de programmes

avec des volumes horaires globaux plus élevés incorporant ces deux domaines à des pourcentages très faibles. Par conséquent, si l'on considère uniquement les programmes qui ciblent chaque domaine, les volumes horaires moyens des trois domaines sont presque égaux, et le volume horaire médian est le plus faible pour l'application de l'IA à d'autres domaines (voir **tableau 11**).

**Tableau 11.** Volume horaire dans le programme pour la catégorie « éthique et impact social » par domaine thématique

	Applications de l'IA à d'autres domaines	Éthique de l'IA	Implications sociales de l'IA
Nombre couvrant le sujet (n = 21)	18	17	12
Fourchette d'heures	0–92	0–54	0–78
Engagement horaire moyen (tous)	11,9	10,8	8,1
Engagement horaire moyen (pour ceux qui ont des attributions)	14,1	13,3	14,2
Engagement médian en heures (pour ceux qui ont des attributions)	5,2	6	7,3

Source : UNESCO (2021b)

Les données fournissent quelques indications importantes sur la manière dont les programmes approuvés par le gouvernement abordent ces domaines.

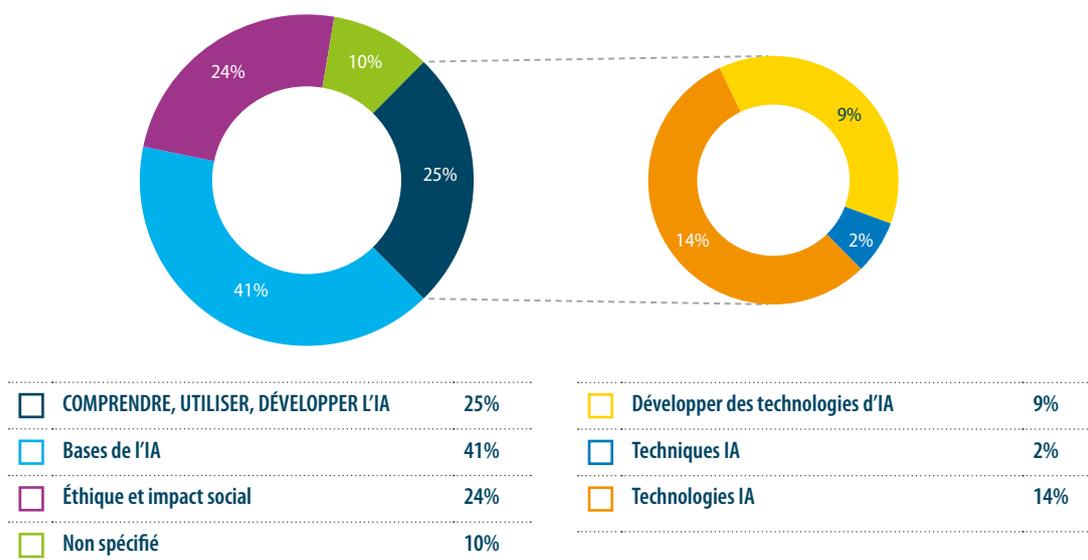
- Premièrement, ce ne sont pas tous les programmes d'études qui abordent les sujets de cette catégorie, et seuls 12 d'entre eux incluent le champ des implications sociales.
- Deuxièmement, les concepteurs de programmes semblent croire que, pour les trois sujets, les concepts peuvent être assimilés et les résultats d'apprentissage atteints avec un faible nombre d'heures.
- Cette catégorie tend à représenter une petite partie des cursus les plus longs, constituant moins de 10 % des 144 heures de Data Science and Artificial Intelligence d'Autriche, des deux cursus d'informatique et de sciences de l'information du Qatar (tous deux de 600 heures) et des 680 heures de IT Repository en Belgique francophone.
- Enfin, cette catégorie tend à entraîner un pourcentage élevé d'heures de la part des programmes ayant les plus petits volumes horaires. Pour les quatre programmes d'études ayant globalement les volumes horaires les plus courts, l'éthique et l'impact social représentent en moyenne 45 % du temps du

programme d'études, les applications de l'IA à d'autres domaines représentant 33 % de ce temps, l'éthique de l'IA représentant 10 % et les implications sociales représentant 1,5 %.

### Comprendre, utiliser et développer l'IA

Cette catégorie comprend les sujets suivants : la compréhension et l'utilisation des techniques d'IA (telles que l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond, les arbres de décision et les réseaux neuronaux) ; la compréhension et l'utilisation des outils d'IA existants (tels que la vision par ordinateur, les classificateurs, le traitement automatique des langues et les générateurs de RAG) ; le développement des technologies d'IA, qui concerne la programmation de l'IA et la création de nouveaux outils ou techniques.

La compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA sont représentés dans 25 % des programmes d'études. Les techniques d'IA représentent plus de la moitié de cette catégorie, tandis que le développement de l'IA est en moyenne le moins traité, avec un volume horaire moyen de seulement 2 % (voir **figure 11**).

**Figure 11.** Pourcentage consacré à la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA (n = 21)

Source : UNESCO (2021b)

Comme pour les résultats concernant la résolution de problèmes contextuels et les implications sociales de l'IA, le faible investissement horaire en faveur du développement des technologies d'IA s'explique en grande partie par le fait que peu de programmes d'études abordent cet aspect. Seuls 6 d'entre eux l'incluent, avec des volumes allant de 2 à 14 %. Parmi ceux-ci, seuls 4 indiquent plus de 10 heures d'investissement dans ce domaine : le programme d'études chinois en sciences et technologies de l'information, le programme *AI for Youth Global Development Skills* (version complète) d'Intel, le programme *AI Youth Skills* de Microsoft et le programme *Computing and Information Technology* (High Tech Track) du Qatar. Trois de ces quatre programmes d'études exigent au moins 150 heures d'étude par an. Lors de l'enquête, certaines personnes interrogées dans ces pays ont indiqué que, selon elles, le rôle de l'enseignement primaire était d'exposer les élèves à l'IA et à ses applications dans le travail et la vie quotidienne, mais que le développement de l'IA était mieux adapté à des études tertiaires spécialisées.

Les répondants ont insisté sur le fait que les programmes d'enseignement sur le développement de l'IA doivent être ancrés de manière pertinente dans l'expertise des

matières concernées. L'exemple le plus cité est celui des mathématiques, où un alignement est nécessaire entre les principes mathématiques et les attentes concernant l'utilisation du codage et des algorithmes. Les réponses à cette exigence varient. Ainsi le Portugal constitue-t-il un exemple de pays qui a intégré une grande partie de ses résultats d'apprentissage en matière d'IA dans la « pensée computationnelle » dans la discipline des mathématiques au sens large, tandis que la Chine a conçu son programme d'enseignement des TIC en fonction des exigences annuelles en matière de mathématiques. En concevant un programme pour les établissements secondaires qui s'engagerait plus fortement dans le développement de l'IA, le MIT a, quant à lui, d'abord ciblé les matières scientifiques, mais a constaté que les professeurs de sciences sont plus intéressés par les applications de l'IA que par son développement. Le MIT considère que les professeurs de mathématiques sont peut-être mieux ancrés dans la théorie informatique qui sous-tend le développement de l'IA.

Le **tableau 12** présente les moyennes, les médianes et les fourchettes d'heures consacrées aux domaines thématiques pour comprendre, utiliser et développer l'IA.

**Tableau 12.** Volume horaire dans le programme pour la catégorie « comprendre, utiliser et développer l'IA », par domaine thématique

	Développer des technologies d'IA	Comprendre/utiliser les techniques d'IA	Comprendre/utiliser les technologies d'IA
Nombre couvrant le sujet (n = 21)	6	18	12
Fourchette d'heures	0–30	0–128	0–307,5
Engagement horaire moyen (tous)	3,3	14,6	21,1
Engagement horaire moyen (pour ceux qui ont des attributions)	11,7	17,0	36,9
Engagement médian en heures (pour ceux qui ont des attributions)	11,3	5,5	11,1

Source : UNESCO (2021b)

Il est intéressant de noter qu'il existe une préférence pour les techniques d'IA par rapport aux technologies d'IA. Cela doit être interprété en tenant compte du contexte : il existe des outils d'IA spécifiquement conçus pour aider les apprenants à passer au crible et à comprendre les techniques d'IA par le biais d'un apprentissage actif ou expérimental, comme *Teachable Machine* et *MachineLearning4Kids*. Des outils d'IA de ce type ont été cités comme ressources dans le programme autrichien sur la science des données et l'intelligence artificielle, le programme arménien sur les TIC, le programme bulgare sur la modélisation informatique, les technologies de l'information et l'informatique, le programme *EdTech Youth Challenge* d'IBM, les deux programmes *Intel AI for Youth*, les modules *ATL AI* de l'Inde, le programme *DAILY* du MIT, le programme *Microsoft AI Youth Skills*, les deux programmes d'informatique et de technologies de l'information du Qatar, le *Technology Subject Framework* des Émirats arabes unis et le programme *Applied Design, Skills and Technologies* du territoire du Yukon (Canada).

### Exemple. Contenu du programme relatif à l'IA en Autriche

// L'éducation actuelle et les processus de travail modernes sont difficilement concevables sans l'utilisation des technologies numériques, tout comme l'est la participation à notre société.

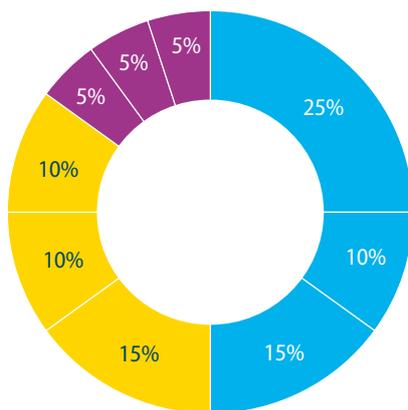
- Programme d'enseignement numérique, Autriche (Ministère fédéral du Numérique et des Affaires économiques, Autriche, 2018).

Le programme autrichien de science des données et d'intelligence artificielle comprend des bases numériques telles que l'utilisation d'un système d'exploitation pour stocker et imprimer des fichiers, concevoir des supports de présentations et utiliser des tableurs et des logiciels de traitement de texte. Il traite également la conception et la réflexion sur les types et les questions sociales dans les médias numériques, ainsi que l'utilisation sécurisée des médias numériques.

Les élèves du secondaire s'initient aux langages de programmation, aux algorithmes et aux simulations. Ils apprennent les principes de base de la maîtrise des données, notamment la collecte de données, la structuration d'une feuille de calcul et la réalisation d'analyses et de visualisations. Ils appliquent des critères pour évaluer la crédibilité et la fiabilité des sources de données ainsi que celle du contenu numérique. Il est attendu des élèves qu'ils aient des connaissances sur les carrières dans les TIC, y compris l'IA, et sur les applications sociales des technologies émergentes. Ils créent des médias numériques et se familiarisent avec le nuage (cloud) et la manière de connecter et de mettre en réseau des ordinateurs. Ils acquièrent également une compréhension des problèmes éthiques liés à l'utilisation de ces technologies et participent activement au discours social sur ces questions. Enfin, les élèves sont chargés d'utiliser la technologie pour faire des déclarations publiques et comprendre comment cela illustre le processus démocratique.

Le programme est proposé dans les écoles en tant que matière obligatoire en vue de l'obtention de crédits et comprend 144 heures d'apprentissage. 50 % du temps, soit 72 heures, sont consacrés aux fondements de l'IA : 25 % aux algorithmes et à la programmation, 10 % à la résolution de problèmes contextuels et 15 % à la connaissance des données. L'éthique et l'impact social occupent 35 % du temps, soit 50 heures de cours : 15 % sur l'application de l'IA à d'autres domaines, 10 % sur l'éthique et 10 % sur les implications sociales. Les 15 % restants sont consacrés à la compréhension, à l'utilisation et au développement de l'IA, répartis de manière égale avec 7 heures allouées à chacun de ses sous-thèmes (compréhension et utilisation des techniques d'IA, compréhension et utilisation des technologies d'IA, et développement de l'IA). La **figure 12** indique le pourcentage de répartition par thème pour ce programme autrichien.

Figure 12. Pourcentage de répartition par thème



Algorithmes et programmation	25%	Applications de l'IA à d'autres domaines	15%	Techniques d'IA	5%
Résolution de problèmes contextuels	10%	Éthique de l'IA	10%	Technologies d'IA	5%
Connaissance des données	15%	Implications sociales de l'IA	10%	Développer l'IA	5%

Source : Ministère fédéral du Numérique et des Affaires économiques, Autriche, 2018

## Résultats d'apprentissage des programmes d'IA

### Méthodologie d'analyse des résultats d'apprentissage

L'élaboration de cette section a été réalisée à partir des résultats d'apprentissage des curriculums, qui ont été obtenus via une analyse des cadres et des programmes. Conformément aux objectifs de cette recherche, les programmes n'ont pas été analysés de manière comparative, mais examinés dans leur ensemble afin de définir les caractéristiques des différents niveaux scolaires. Les résultats montrent les types d'investissements, ou engagements, qui ont été avancés comme objectifs des programmes d'études. Il est important de noter que cette section n'a aucune prétention à dire ce qui devrait ou ne devrait pas être inclus ou traité dans un programme d'AI de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année, mais représente simplement ce que les pratiques actuelles englobent.

En plus des résultats d'apprentissage présentés dans cette section, certains curriculums abordent des compétences requises pour un travail ultérieur dans l'étude avancée de la technologie, mais qui ne sont pas directement liées à l'IA. Il s'agit notamment de la familiarisation avec les ordinateurs et leurs systèmes d'exploitation, de la sensibilisation à l'Internet en tant que moyen d'échange d'informations, de l'utilisation de logiciels pour travailler avec du texte, du son, des photos et des dessins, de la création et du partage de médias par le biais des TIC, de la dextérité au clavier,

de l'utilisation de logiciels de collaboration et de la compréhension des réseaux informatiques.

### Cadre pour la classification des résultats d'apprentissage

La présentation de cette section correspond aux principaux aspects de l'éducation basée sur les compétences. L'OCDE (2016) définit la « compétence » comme une combinaison de connaissances, d'aptitudes, de valeurs et d'attitudes qui est mise en œuvre afin de répondre à des demandes complexes dans un contexte particulier. S'il est important de ne pas perdre de vue les interrelations entre les domaines cognitif, psychomoteur et affectif, le présent rapport se concentre, pour des raisons de commodité, sur les résultats d'apprentissage des programmes selon trois axes : (i) connaissances, (ii) aptitudes et (iii) valeurs et attitudes.

Les connaissances portent sur les exigences cognitives, tant générales que spécifiques à un domaine, jugées nécessaires pour passer aux compétences. Les résultats relatifs aux connaissances utilisent généralement des verbes tels que « savoir », « comprendre », « réfléchir » et « comparer ». Les compétences font référence aux aspects psychomoteurs, et les résultats liés aux compétences comprennent généralement des verbes comme « utiliser », « créer », « construire », « modifier » ou « écrire ». Dans cette classification, les « compétences » comprennent également l'analyse et la révision des artefacts et des produits technologiques.

Les valeurs comprennent les principes directeurs qui déterminent la façon dont on désigne les priorités lorsqu'on prend une décision ou qu'on agit, et avec les croyances, elles constituent la base des attitudes et des attributs et de leur influence sur le comportement (BIE, 2013). Les valeurs et les attributs peuvent être implicites et non déclarés, déclarés explicitement dans les programmes ou intégrés dans les résultats d'apprentissage par le biais d'adjectifs tels que « créatif » ou « indépendant » ou de composés groupes nominaux comme « pensée critique ».

Le développement des valeurs est de plus en plus mis en avant dans les forums internationaux et dans la littérature. L'objectif de ce texte n'est pas de s'interroger sur la viabilité ou le bien-fondé de l'intégration des valeurs dans l'éducation, mais plutôt de mettre en évidence les valeurs et les attitudes qui sont implicitement ou explicitement imbriquées dans les programmes de l'IA. Il est toutefois important de noter une caractéristique essentielle des valeurs : elles ne sont pas des attributs immuables. Elles peuvent évoluer en fonction du contexte ou de la situation (Haste, 2004, 2018). Par conséquent, les valeurs présentées dans cette section doivent être comprises dans les contextes de l'ensemble fixe (bien que divers) des pays concernés par cette recherche.

Ce rapport présente les valeurs implicites et explicites des programmes scolaires analysés selon quatre catégories telles que présentées par l'OCDE (2019) : personnelles, qui traitent de la manière dont on définit et dont on poursuit ses objectifs personnels ; sociales, qui traitent des relations interpersonnelles ; sociétales, qui traitent des priorités partagées par les cultures ou les sociétés et peuvent être inscrites dans la loi ; et humaines, autrement dit des valeurs qui reflètent des priorités partagées qui transcendent les frontières nationales et culturelles.

Les résultats en matière de connaissances et de compétences sont présentés selon les catégories et les domaines présentés dans la section précédente, « Contenu du programme d'AI ». Les catégories sont les suivantes : les fondements de l'IA, y compris les domaines thématiques des algorithmes et de la programmation, de la résolution de problèmes contextuels et de la culture des données ; la compréhension, l'utilisation et le développement de l'IA, y compris les domaines thématiques des techniques d'IA, des technologies d'IA existantes et du développement de nouvelles technologies d'IA ; enfin, l'éthique et l'impact social, y compris les domaines thématiques des applications de l'IA à d'autres domaines, de l'éthique de l'IA et des implications sociales de l'IA.

## Cartographie des résultats d'apprentissage par catégories d'IA

## Connaissance

Tableau 13. Cartographie des résultats de la connaissance

Domaine	Sous-domaine	Résultats de l'apprentissage	Niveau scolaire			
			Primaire	Moyen	Secondaire	
<b>Bases de l'IA</b>						
Algorithmes	La pensée computationnelle	Comprendre l'abstraction	X			
		Comprendre la décomposition	X			
		Expliquer les rôles de la décomposition, de l'abstraction, de la reconnaissance des formes et des algorithmes dans le calcul		X		
		Découvrir les points communs et les règles (modèles) dans les instructions			X	
	Définitions et applications des algorithmes	Comprendre ce que sont et font les algorithmes	X	X	X	
		Comprendre que les algorithmes d'apprentissage sont des ensembles d'instructions créées par des humains pour modifier une entrée et créer une sortie		X		
		Identifier des exemples de types d'algorithmes (classificateurs, générateurs, régression)		X		
		Reconnaître et décrit les applications quotidiennes des algorithmes			X	
		Reconnaître l'importance des algorithmes dans les processus numériques automatisés			X	
	Composants et processus algorithmiques	Comprendre les parties d'un algorithme (entrée, étapes pour modifier l'entrée, sortie)		X	X	
		Comprendre le processus de formation, de test et de déploiement des algorithmes		X		
		Comparer et opposer la recherche et le tri des algorithmes			X	
		Analyser le déroulement de l'exécution d'un algorithme récursif			X	
		Comprendre les algorithmes de régression			X	
		Comparer comment les structures de données avancées sont utilisées par les algorithmes			X	
	Programmation	Langages de programmation	Développer la connaissance des outils de programmation basés sur des blocs et d'autres outils de programmation		X	
			Connaître les différents langages de programmation et les processus de production		X	X
		Représentation et simulations	Comprendre le raisonnement fondé sur des règles		X	
Se sensibiliser aux processus itératifs dans la création d'artefacts					X	
Acquérir et approfondir la connaissance des simulations/modèles/abstractions informatiques des systèmes physiques du monde réel				X		
Réfléchir aux limites et aux possibilités des simulations					X	
Résolution de problèmes contextuels	Discuter et évaluer la puissance et l'applicabilité de diverses approches de l'IA à des problèmes pratiques		X			
Connaissance des données		Comprendre les tendances en matière de données	X			
		Comprendre les principes et les processus de collecte de données et d'analyse simple	X			
		Comprendre comment collecter, traiter, analyser et rendre compte en utilisant des données		X	X	
		Comprendre les types de sources d'information		X	X	
		Décrire la structure de base d'un tableau dans une feuille de calcul		X	X	
		Décrire les caractéristiques des données et des informations			X	
		Évaluer les capacités de gestion des big data (par exemple, les processus d'entreposage)			X	
		Examiner les avantages et les inconvénients du stockage en nuage de données volumineuses			X	
		Comparer des données structurées et non structurées			X	
		Explorer les techniques d'encodage pour représenter efficacement les données			X	
		Se sensibiliser à la manière dont la transformation et la présentation de grands ensembles de données par la visualisation/modélisation peuvent être utilisées pour la prise de décision			X	

Domaine	Sous-domaine	Résultats de l'apprentissage	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
<b>Comprendre, utiliser et développer l'IA</b>					
Techniques d'IA	Définitions et composants de l'IA	Comprendre l'IA « faible » et « forte »	X		
		Décrire les termes de base liés à l'IA		X	
		Comprendre ce qu'est l'IA (et ce qu'elle n'est pas)		X	X
		Comprendre les éléments de l'IA (ensemble de données, algorithmes d'apprentissage, prédiction)		X	X
		Comprendre et utiliser les termes de base et généraux liés à l'IA et à l'apprentissage automatique (apprentissage machine, AM)			X
		Décrire les caractéristiques de base de l'IA			X
		Comprendre que l'IA a des algorithmes sous-jacents			X
		Comprendre la convergence dans l'IA			X
	Utilisation des données dans l'IA	Expliquer comment les données sont utilisées pour faire des prédictions		X	X
		Décrire le flux de données à travers un réseau d'apprentissage profond pour les problèmes de classification		X	X
	Histoire de l'IA	Connaître l'histoire de l'IA et son évolution au fil du temps		X	X
		Comprendre les différentes approches du développement de l'IA			X
	Compréhension du fonctionnement de l'IA	Expliquer les types de techniques d'IA et leur fonctionnement (supervisé, non supervisé, renforcement, apprentissage machine/ apprentissage profond)		X	X
		Comprendre le fonctionnement des réseaux neuronaux et leurs composantes ( <i>feed forward</i> , évaluation de la précision d'une prédiction, rétropropagation)		X	X
		Comprendre les concepts et les défis de l'intelligence artificielle générale		X	X
Connaître le fonctionnement des RAG et identifier leurs parties				X	
Expliquer les recherches heuristiques et leur fonctionnement				X	
Technologies d'IA	Perception de l'ordinateur et de l'homme	Comparer la perception de l'ordinateur et de l'homme	X		
		Comprendre la reconnaissance informatique	X		
		Comprendre les méthodes de mesure avec des capteurs		X	
		Comprendre le rôle des capteurs dans la collecte des données			X
		Comprendre la différence entre l'IA et l'intelligence humaine			X
	Comprendre les technologies de l'IA	Explorer la technologie et les outils de l'IA (par exemple, le classificateur)	X		
		Comprendre les processus de création et d'utilisation de la PNL		X	X
		Explorer les principes des données pour le traitement NLP			X
		Comprendre les systèmes autonomes			X
		Comprendre les systèmes de recommandation et la technologie qui les sous-tend			X
		Comprendre le processus de création et d'utilisation de la vision par ordinateur			X
		Développer une compréhension des technologies avancées (IoT, cloud computing)			X
		Comparer et contraster le système d'exploitation d'un dispositif IoT avec un système d'exploitation de bureau typique			X
Développement de l'IA	Réflexion sur le design		X	X	
	Produit développement	Comprendre le concept de design			
		Comprendre le cycle de développement du produit			X

Domaine	Sous-domaine	Résultats de l'apprentissage	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
<b>Éthique et impact social</b>					
Applications de l'IA à d'autres domaines		Identifier/expliciter les cas d'utilisation et les applications de l'IA dans la vie quotidienne	X	X	X
		Décrire comment l'IA pilote de nombreux logiciels et systèmes physiques			X
		Comprendre les nouvelles avancées et applications de l'IA			X
		Connaître les domaines d'application importants des professions de l'IA et des technologies de l'information			X
Éthique de l'IA	Termes éthiques, définitions et exemples	Comprendre la signification de termes éthiques tels que « partialité », « équité » et « représentation » en relation avec l'IA		X	X
		Réfléchir aux droits de l'homme et aux questions éthiques liées à l'utilisation des technologies et des IA		X	X
		Décrire les limites de l'IA			X
		Comprendre les considérations éthiques et les dilemmes que peut susciter l'IA			X
	Accès	Comprendre les problèmes d'accès à la technologie			X
	Biais	Expliquer comment les préjugés des programmeurs influencent l'équité des règles de l'IA			X
		Comprendre les effets de la qualité de l'information sur la prise de décision			X
		Comprendre les préjugés algorithmiques et les types/sources de préjugés		X	X
		Comprendre les méthodes permettant d'atténuer ou de réduire les préjugés dans les algorithmes d'IA		X	
		Comprendre les différents types de biais (représentation, sélection, etc.)			X
		Analyser des cas où l'IA a été clairement juste ou injuste			X
	Propriété intellectuelle	Comprendre les droits de propriété intellectuelle	X		
		Défendre une position sur la propriété de l'art généré ou amélioré par l'IA		X	
		Comprendre/respecter les lois de base sur la propriété intellectuelle		X	
	Vie privée et sécurité	Se sensibiliser à la cybersécurité	X		
		Développer une connaissance approfondie du concept d'identité numérique			X
		Comprendre comment les fournisseurs de services numériques informent les utilisateurs de la manière dont les informations personnelles sont utilisées			X
		Comprendre comment les informations personnelles identifiables peuvent être utilisées et partagées			X
	Transparence/explicabilité	Comprendre les mécanismes de manipulation des images et des données			X
		Comprendre le principe de l'IA explicable et ses principes			X
Rôle de l'humain	Comprendre que les humains contrôlent l'IA et l'apprentissage automatique		X	X	
	Comprendre la convivialité, la sécurité et l'accessibilité des systèmes informatiques en tant que caractéristiques clés de leur conception			X	
	Comprendre comment créer et/ou utiliser l'IA de manière éthique			X	

Domaine	Sous-domaine	Résultats de l'apprentissage	Niveau scolaire		
			Primaire	Moyen	Secondaire
Implications sociales de l'IA	Avantages et inconvénients de l'IA	Comprendre comment l'IA peut bénéficier aux humains	X	X	X
		Réfléchir aux avantages et aux inconvénients des nouvelles technologies	X	X	X
		Décrire les avantages et les inconvénients de l'IA dans différents contextes sociaux, éducatifs et professionnels			X
	L'IA dans la vie quotidienne et au travail	Considérer le rôle, l'importance et/ou l'impact des nouvelles technologies sur la société (vie, travail et éducation)	X	X	X
		Explorer les technologies émergentes susceptibles de bouleverser la façon dont les gens vivent, apprennent et travaillent		X	X
		Développer une conscience de la citoyenneté numérique	X		
		Comprendre comment l'IA change les emplois (même en dehors des STEM)		X	
		Comprendre les avantages et la demande d'emplois dans le domaine des STIM		X	
	Incidences sur l'environnement	Reconnaître les interactions entre la nature, la technologie et la société			X
		Comprendre les impacts environnementaux positifs et négatifs de la technologie	X	X	X
		Connaître les coûts informatiques et environnementaux de la production de l'IA		X	
		Comprendre comment les coûts informatiques et environnementaux peuvent être réduits (modèles plus efficaces, évaluation des coûts et des avantages)		X	
	Faux et désinformation	Comprendre comment les coûts informatiques et environnementaux conduisent à l'inégalité dans le développement de l'IA		X	
		Réfléchir aux aspects positifs/négatifs et aux conséquences sociales des « deepfakes » (hypertrucage)		X	
		Réfléchir aux implications sociales de la technologie GAN (par exemple, les faux devoirs)		X	
		Connaître les six caractéristiques principales de la désinformation <sup>22</sup>		X	
Genre	Comprendre comment la désinformation se propage		X		
	Se sensibiliser aux conséquences/opportunités liées au genre dans le domaine technologique			X	

Source : UNESCO (2021b)

## Compétences

Tableau 14. Cartographie des résultats en termes de compétences

Domaine thématique	Description des compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
<b>Bases de l'IA</b>				
Algorithmes	Reconnaître les modèles	X		
	Suivre des instructions d'action claires (algorithmes) et les exécuter		X	X
	Formuler des instructions d'action (algorithmes) claires, verbalement et par écrit		X	X
	Créer un algorithme et le diagramme de flux correspondant de manière itérative		X	X
	Créer un modèle prédictif			X
	Mettre en œuvre des structures de données complexes et des algorithmes fondamentaux (par exemple, pour le tri et la recherche)			X
	Évaluer l'efficacité d'un algorithme en termes de temps et d'espace			X
	Optimiser les procédures de calcul (afin de réduire le nombre d'étapes)			X

<sup>22</sup> Selon le MIT DAILY Curriculum : suscite l'émotion, la polarisation, la diffusion de théories du complot, le détournement de la responsabilité, l'usurpation d'identité ou les faux comptes, et le « trolling » en ligne.

Domaine thématique	Description des compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
Programmation	Programmer le control d'un robot	X		
	Construire des scripts de code simples en utilisant la programmation par blocs	X		
	Créer une application mobile avec un langage de programmation par blocs		X	
	Convertir des algorithmes en code à l'aide d'un outil de programmation en mode texte		X	
	Coder dans un ou plusieurs langages de programmation		X	X
	Maîtriser des structures de programmation de base (par exemple, branches, boucles, procédures)		X	X
	Évaluer les interfaces utilisateurs (utilisabilité, intuitivité) et les processus techniques qui les sous-tendent			X
	Utiliser, créer et réfléchir sur le codage (par exemple, le chiffrement, le code QR)			X
	Créer du code pour manipuler les fichiers de données locaux			X
	Créer un logiciel pour contrôler un robot ou un autre dispositif informatique			X
	Utiliser des méthodes de programmation modulaire dans une variété de langages de programmation			X
	Développer une application en utilisant la programmation orientée objet			X
	Développer des programmes sûrs et conviviaux en tenant compte des exigences d'accessibilité			X
Résolution de problèmes contextuels	Créer des programmes ou des applications web simples à l'aide d'outils appropriés pour résoudre un problème spécifique ou effectuer une tâche spécifique		X	X
	Concevoir, développer et utiliser des stratégies pour résoudre des problèmes de la vie réelle par la décomposition et l'identification de modèles			X
	Évaluer les solutions technologiques possibles et en choisir une appropriée, en tenant également compte des logiciels propriétaires et libres			X
Connaissance des données	Sauvegarder, modifier et trier des bases de données simples	X		
	Créer des visualisations de données numériques et textuelles	X		
	Rechercher, sélectionner et collecter des données à partir d'une série de sources en utilisant des stratégies de recherche appropriées	X	X	X
	Organiser les informations recueillies (par exemple en utilisant des étiquettes de données et en les classant par catégories)	X	X	X
	Manipuler des données, faire des calculs et créer des graphiques simples avec une feuille de calcul	X	X	X
	Utiliser les outils TIC pour gérer et maintenir une base de données relationnelle		X	X
	Travailler avec des bases de données relationnelles pour produire des rapports		X	X
	Évaluer la qualité, l'authenticité et l'exactitude des données		X	X
	Appliquer des critères pour évaluer la crédibilité et la fiabilité des sources de données			X
	Mettre en œuvre des processus automatisés de collecte de données et gérer le stockage des données sur un large éventail de supports physiques et de plateformes en nuage			X
	Analyser les flux de données IoT et créer des alertes en cas de conditions anormales telles que des vents extrêmes			X
	Transformer les données non structurées en données structurées			X
	Utiliser des outils ou des plateformes logicielles pour organiser, calculer, présenter et sauvegarder des données			X
	Créer des scripts SQL pour gérer les bases de données normalisées			X
	Utiliser les outils TIC pour transformer les données en informations afin de favoriser une prise de décision précise			X
Utiliser une gamme de modèles et de méthodes graphiques pour analyser, prévoir et communiquer des histoires de données			X	

Domaine thématique	Description des compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
<b>Comprendre, utiliser et développer l'IA</b>				
Techniques d'IA	Classifier les objets en fonction de leurs caractéristiques	X		
	Construire un arbre de décision (prototype papier)		X	
	Concevoir un flux de travail pour former et tester un algorithme d'IA		X	X
	Nettoyer et préparer les données textuelles pour l'analyse et l'AM			X
	Concevoir et tester des solutions d'apprentissage supervisé pour les problèmes de classification			X
	Utiliser des cadres d'application d'IA à code source ouvert pour construire des systèmes intelligents simples			X
	Interpréter les performances d'un modèle AM (par exemple, en utilisant une matrice de confusion)			X
	Identifier si divers produits médiatiques sont RAG ou non			X
	Créer des RAG dans différentes matières (musique, art, biologie)			X
	Créer une histoire et des illustrations à l'aide de RAG			X
Technologies d'IA	Construire et tester un classificateur à l'aide d'une machine à enseigner ou d'un outil d'IA similaire		X	
	Construire un chatbot avec support		X	
	Construire et contrôler un robot simple qui peut utiliser l'IA		X	
	Programmer un robot autonome		X	
	Fixer un nouvel objectif pour un algorithme d'IA existant		X	
	Utiliser les technologies d'IA existantes pour développer de nouveaux produits			X
	Construire et préparer un jeu de données pour le traitement du langage naturel (NLP)			X
Créer un chatbot avec des interfaces homme/robot appropriées			X	
Développement de l'IA	Travailler au sein d'une équipe	X		
	Utiliser la méthodologie de la pensée créatrice pour mettre en œuvre un projet au sein d'une équipe		X	X
	Créer des solutions innovantes grâce aux outils d'IA			X
	Gérer un projet de développement technologique			X
	Vérifier l'exactitude des solutions technologiques appliquées			X
<b>Éthique et impact social</b>				
Applications d'IA	Utiliser des algorithmes pour produire de l'art, de la musique, etc.	X	X	X
Éthique de l'IA	Protéger les données personnelles et la vie privée des autres	X	X	X
	Identifier les cas de partialité dans les algorithmes d'IA		X	
	Identifier les parties prenantes/bénéficiaires d'un algorithme d'IA		X	
	Construire une matrice éthique pour un algorithme (les parties prenantes et leurs valeurs)		X	
	Identifier des recherches qui ont exposé des données privées sur Internet		X	X
	Gérer les identités et les réputations numériques et démontrer une compréhension des empreintes numériques			X
	Requêter de données désordonnées dans un tableau, et rechercher des biais			X
	Entreprendre de défendre ses propres intérêts et d'obtenir réparation (par exemple, si ses droits sont violés)			X
	Concevoir un processus de contrôle de bout en bout qui maximise la transparence et garantit l'équité			X
	Rédiger des directives à l'intention des concepteurs d'IA afin de garantir que l'IA est fabriquée de manière éthique			X

Domaine thématique	Description des compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
Implications sociales de l'IA	Disposer correctement de la technologie	X		
	Identifier les deepfakes (indépendamment et avec l'IA)		X	
	Reconnaître les développements qui menacent l'égalité des chances dans l'utilisation des technologies de l'information et identifier les options d'action		X	X
	Comparer, analyser et évaluer l'information et le contenu numérique de manière critique (par exemple, pour reconnaître la manipulation)		X	X
	Éviter les risques pour la santé et les menaces pour le bien-être physique et mental liés aux TI			X
	Contribuer à façonner le développement social en participant au discours public			X

Source : UNESCO (2021b)

## Valeurs

Tableau 15. Cartographie des résultats relatifs aux valeurs et aux attitudes

Valeur / attitude à développer	Exemples de résultats liés aux connaissances et aux compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
<b>Personnel</b>				
Intérêt pour les TIC	Explorer les outils d'IA existants	X	X	X
	Créer des solutions innovantes grâce aux outils d'IA	X	X	X
Persévérance / résilience	Résoudre des problèmes à l'aide de la méthodologie de programmation Tester et revoir la conception des artefacts et des produits	X	X	X
Autonomisation personnelle (empouvoirement)	Créer un projet en utilisant la pensée créatrice Rechercher des données privées exposées sur Internet Identifier les voies de recours en cas de violation des droits de la personne		X	X
Réflexion	Réfléchir à la manière dont « mon travail personnel futur » pourrait être influencé par l'IA Décrire le rôle et l'importance de l'IA et de ses applications Explorer les technologies émergentes susceptibles de bouleverser la façon dont les gens vivent, apprennent et travaillent		X	X
Pensée critique et réflexion	Concevoir, développer et utiliser des stratégies pour résoudre des problèmes de la vie réelle à l'aide de la pensée computationnelle Expliquer comment les préjugés des programmeurs influencent l'équité des règles de l'IA Comparer, analyser et évaluer de manière critique l'information et le contenu numérique (par exemple, pour reconnaître une manipulation)			X
Esprit d'entreprise	Utiliser la méthodologie de la pensée créatrice pour produire un prototype Se sensibiliser aux principes/processus de l'entrepreneuriat pour mettre en œuvre des idées novatrices			X
<b>Social</b>				
Collaboration / travail en équipe	Travailler au sein d'une équipe ou d'un groupe	X	X	X
	Mettre en œuvre un projet au sein d'une équipe Collaborer en ligne en tant que membre d'une équipe			
Communication	Créer une histoire et des illustrations à l'aide de RAG Rédiger des conseils à l'intention des concepteurs d'IA afin de garantir que l'IA est réalisée de manière éthique			X
<b>Sociétal</b>				
Respect des autres	S'engager de manière respectueuse avec les autres	X	X	X
	Protéger les données personnelles et la vie privée des autres			
Responsabilité personnelle	Se débarrasser correctement de la technologie Comprendre que les humains contrôlent l'IA et l'AM	X	X	X

Valeur / attitude à développer	Exemples de résultats liés aux connaissances et aux compétences	Niveaux scolaires		
		Primaire	Moyen	Secondaire
Intégrité	Comprendre les méthodes permettant d'atténuer ou de réduire les préjugés dans les algorithmes d'IA Concevoir un processus d'AM de bout en bout qui maximise la transparence et garantit l'équité		X	X
Tolérance	Faire preuve de tolérance à l'égard des idées/positions différentes		X	X
<b>Humain</b>				
Respect de l'environnement / esprit de durabilité	Comprendre l'impact environnemental de la technologie Reconnaître les interactions entre la nature, la technologie et la société Comprendre comment les coûts informatiques et environnementaux peuvent être réduits	X	X	X
Engagement en matière d'équité	Réfléchir à l'accès à l'IA Comprendre comment les coûts de calcul et les coûts environnementaux conduisent à une inégalité dans le développement de l'IA		X	

Source : UNESCO (2021b)

### Exemple. Progression des résultats d'apprentissage de l'IA en République de Corée<sup>23</sup>

Les critères du curriculum de l'IA dans le primaire et le secondaire en République de Corée ont été publiés en 2020, et un programme national est en cours d'élaboration. Les autorités locales et les établissements peuvent modifier de manière souple les programmes scolaires pour qu'ils correspondent aux heures et aux cadres définis par les critères. En 2020, un programme scolaire sur l'IA pour les écoles secondaires a été mis en place. Ce programme étant proposé sous la responsabilité des directeurs d'établissement, il a le potentiel pour concerner 2 367 écoles secondaires. Le pays compte 500 écoles « Leader dans l'enseignement AI » (*AI education leader*), qui sont spécifiquement axées sur la formation de talents dans le secteur technologique.

Le programme s'appuie sur les modules de codage obligatoires dans les écoles primaires, les collèges et les lycées, mais ne nécessite aucune connaissance préalable en IA.

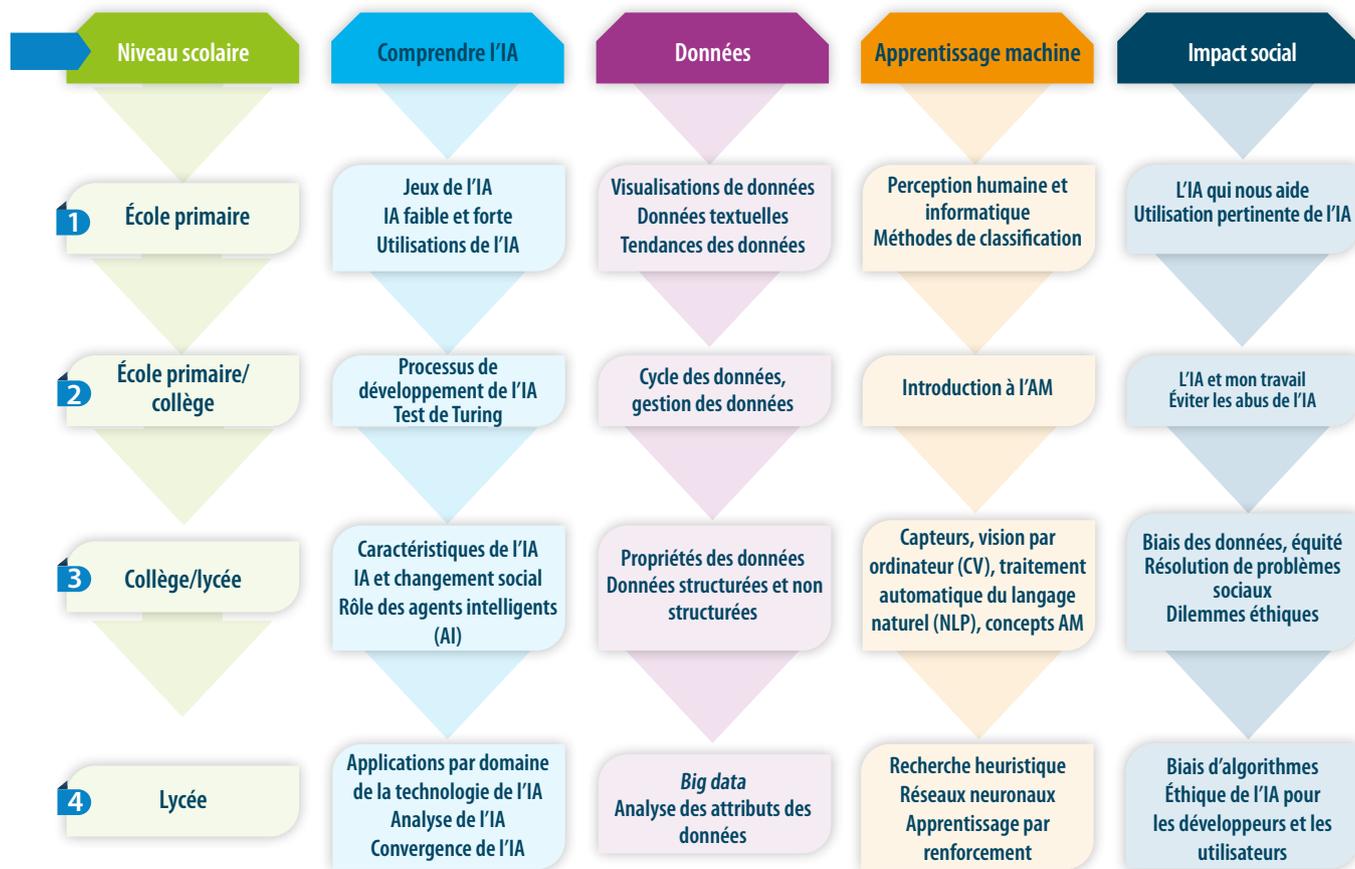
Selon les normes en vigueur, le contenu du programme coréen d'enseignement de l'IA couvre trois domaines :

1. compréhension de l'IA, avec les sous-domaines « IA et société » et « Agents intelligents » ;
2. principes de l'IA et ses applications, avec les sous-domaines « Données », « Reconnaissance », « Classification, exploration et raisonnement », « Apprentissage automatique et apprentissage profond » ;
3. impact social de l'IA, avec les sous-domaines « influence de l'IA » et « éthique de l'IA ».

La **figure 13** décrit la progression du programme pour certains des objectifs d'apprentissage dans quatre domaines-clefs : compréhension de l'IA, données, apprentissage automatique (y compris la classification) et impact social.

<sup>23</sup> Les informations contenues dans cette section sont tirées des réponses écrites et orales aux questions de l'entretien telles qu'elles ont été fournies par les personnes interrogées.

Figure 13. Normes en vigueur dans les programmes d'études, République de Corée



Source : Interview et contributions écrites du Professeur Ki-Sang Song

## Mise en œuvre du curriculum

### Formation et soutien des enseignants

#### Formation continue du personnel enseignant existant

La plupart des stratégies de formation pour les programmes scolaires validés par le gouvernement visent à améliorer les compétences du personnel en place. Certains pays, comme la Chine et le Portugal, ont indiqué que la stratégie de préparation s'appuie sur des initiatives ou des projets de formation nationaux pour les enseignants des matières dans lesquelles l'IA est intégrée. Dans d'autres, comme la Belgique, les programmes des enseignants sont décentralisés et pris en charge par des réseaux d'éducation, et peuvent donc varier selon les régions, les langues et les types d'établissements (par exemple, publics ou privés).

Les acteurs non gouvernementaux ont tendance à privilégier d'autres méthodes de formation des enseignants. Pour le programme MIT DAILY, des enseignants de trois districts des États-Unis ont participé à une formation comprenant des sessions générales et 30 heures de mise en pratique dans des stages d'été organisés par des ONG partenaires. Les partenaires industriels s'engagent à dispenser des cours de formation à distance ou par le biais de méthodologies d'apprentissage mixte. Par exemple, un partenariat entre IBM et l'école d'éducation de l'université Macquarie a permis de créer un cours de 16 heures sur l'intelligence artificielle (IA) destiné aux enseignants et hébergé par Coursera. Ce cours aborde des sujets tels que l'histoire de l'IA, la comparaison entre l'IA et l'intelligence humaine, ou encore les considérations éthiques liées au développement et à l'utilisation de l'IA. Certains fournisseurs proposent une certification. Intel le fait pour les coachs et les chefs de file (lead coachs), ces derniers étant souvent positionnés comme formateurs de formateurs.

#### Inclure l'IA dans la formation initiale des enseignants

En Autriche, la principale stratégie de formation des enseignants consiste à intégrer des thèmes liés à l'IA dans la formation initiale des enseignants des établissements d'enseignement supérieur, qui doivent traiter non seulement des thèmes généraux liés à l'IA, mais aussi l'utilisation de l'IA en tant que support des processus pédagogiques, pour l'enseignement et l'apprentissage.

### Soutien aux enseignants en poste

En plus de définir des normes, les gouvernements nationaux et régionaux accompagnent la mise en œuvre des programmes d'IA par le développement de ressources. Par exemple, en Serbie, la mise en œuvre est soutenue par des outils en ligne comprenant des vidéos, des présentations et des tâches interactives qui ont été créées et développées pour les différents programmes d'IA proposés dans le pays. Des initiatives nationales ou régionales participent également à la création de ressources telles que des manuels et des directives d'évaluation pour soutenir le programme relatif à l'IA avant sa mise en œuvre.

Le programme DAILY du MIT fournit aux enseignants du matériel, notamment des supports de présentation, des sujets de discussion et des plans de cours complets qu'ils peuvent utiliser ou adapter. Les partenaires industriels tels qu'IBM, Intel et Microsoft leur fournissent des parcours pédagogiques et du contenu par le biais de ressources en ligne ouvertes et mondiales. Ces partenaires ont également créé des ressources pour enseignants adaptées au contexte des pays de mise en œuvre, notamment des manuels, des guides de l'animateur et des manuels d'IA.

### Outils et environnements d'apprentissage

En plus de tirer parti des infrastructures existantes pour fournir du matériel et des connexions Internet, les programmes d'enseignement font appel à une série de ressources destinées à soutenir la mise en œuvre dans les écoles. Dans des cas comme la Belgique et la Chine, la décision concernant les outils et les environnements n'a pas été centralisée et il n'a donc pas été possible d'obtenir des précisions. De l'autre côté du continuum, dans le cas de la Serbie, des outils en ligne comprenant des tâches interactives sont créés pour renforcer le programme scolaire. D'autres programmes tirent parti des environnements et des outils existants, en faisant appel à toute une gamme de produits gratuits. Les représentants de l'Autriche et des EAU, respectivement, ont ainsi fait remarquer :

// Nous utilisons Jupyter Notebook/Lab, Python, PyCharm, et les bibliothèques Python pour l'IA (Scikit-learn, Keras, Tensorflow). Nous nous concentrons sur le traitement du langage naturel, l'analyse d'images et l'analyse des métadonnées (*big data*).

Nous utilisons différentes ressources et plateformes en fonction du niveau scolaire des élèves. Des outils en ligne tels que Code.org, Microsoft and AI, MachineLearning4Kids

et IBM, ainsi que des kits robotiques d'IA tels que Magkinder Labeeb, Fateen, Maker, Maker with Robotics Car et Raspberry-Pi sont utilisés dans différents projets d'IA. Nous nous servons de ces outils pour entraîner différents modèles, comprendre les algorithmes d'apprentissage automatique et effectuer des tâches en ligne liées à l'IA. Les élèves des classes supérieures seront initiés à Python afin de pouvoir mettre en œuvre différents algorithmes d'apprentissage automatique.

Les programmes d'enseignement de l'IA ne font pas tous appel au codage ou à la programmation, mais nombreux sont ceux qui incluent ces éléments, souvent en utilisant des langages et des outils d'initiation à la programmation tels que PictoBlocks ou Scratch. L'introduction du langage Python est fréquente, en particulier dans les programmes destinés aux écoles secondaires supérieures, et ce bien que certains programmes incluent également HTML et Java.

Un large éventail de technologies d'IA telles qu'Alexa, les générateurs d'images RAG, Google Assistant, Pix2Pix, PoseNet, les kits de robotique et les logiciels de simulation ont été inclus dans les curriculums, permettant aux élèves d'explorer les très nombreuses façons dont l'IA peut être utilisée dans différents domaines. Les élèves qui ont participé à la création de l'IA étaient plus susceptibles de le faire par le biais de logiciels gratuits tels que MachineLearning4Kids et Teachable Machine. Ces outils permettent aux enfants d'explorer et de construire des modèles AM pour effectuer des tâches telles que la classification d'objets. À mesure que les élèves avancent dans les classes supérieures, certains programmes font davantage appel à des bibliothèques et à des outils d'AM comme Scikit-learn.

Le programme DAILY du MIT a également tiré parti des environnements hors ligne. En plus d'encourager l'exploration d'outils et de ressources en ligne, ce curriculum comprenait des jeux hors ligne, par exemple une activité de groupe où les élèves mettent en scène les flux d'informations dans un RAG, et une autre dans laquelle ils construisent un système de classification par arbre de décision sur papier pour différents types de pâtes. Dans le cas des sciences et technologies de l'information en Chine, le programme doit servir

à une large variété d'établissements et de régions à différents niveaux d'accès et d'intégration des TIC, et fournit donc une série de résultats d'apprentissage sans recommander de technologies ou d'outils spécifiques pour l'enseignement, et ce afin de permettre des options à la fois en ligne et hors ligne.

Les outils et instruments suivants ont été suggérés dans les curriculums en fonction des domaines de l'IA sur lesquels ces programmes scolaires mettent l'accent :

- **Matériel et robotique**

Le matériel nécessaire aux programmes d'enseignement de l'IA comprend des ordinateurs, des tablettes, des ordinateurs portables et un accès à Internet/au Web. Certains programmes d'IA ne prévoient pas de contenu sur les robots ou la robotique. Lorsque l'apprentissage des robots est nécessaire, les programmes doivent s'appuyer sur des kits tels que Lego Mindstorm EV3<sup>24</sup>, Magkinder Labeeb<sup>25</sup> et/ou Maker Robotics<sup>26</sup>.

Des appareils comme le Raspberry Pi<sup>27</sup> sont utilisés dans le cadre de certains programmes qui demandent aux élèves de créer des programmes et de les tester à l'aide d'appareils peu coûteux sur le plan financier.

- **Logiciels**

Les systèmes d'exploitation à code source ouvert Ubuntu<sup>28</sup> ont été utilisés par certains programmes, en ce qu'ils constituent une solution alternative moins coûteuse que d'autres systèmes d'exploitation.

- **Langages de programmation**

Les curriculums s'appuient souvent sur des langages de programmation libres tels que :

- HTML<sup>29</sup>
- Javascript<sup>30</sup>
- Python<sup>31</sup>
- Micropython<sup>32</sup>
- NumPy<sup>33</sup>
- R<sup>34</sup>
- Scratch<sup>35</sup>

- **Outils d'apprentissage des techniques d'IA**

Un certain nombre d'outils ont été développés pour faciliter la compréhension et permettre l'exploration de concepts complexes et de techniques d'IA, notamment les suivants qui ont été spécifiquement mentionnés dans les programmes d'IA de cette étude :

24 Voir <https://www.lego.com/en-us/product/lego-mindstorms-ev3-31313>

25 Voir <https://shop.ibtikar.io/en/magkinder-labeeb-151-pcs-set>

26 Voir <http://site.makerrobotics.com.br>

27 Voir <https://www.raspberrypi.org> ou <https://www.raspberrypi.com>

28 Voir <https://ubuntu.com/download>

29 Voir <https://www.w3schools.com/html>

30 Voir <https://www.w3schools.com/js>

31 Voir <https://www.python.org/psf>

32 Voir <https://micropython.org>

33 Voir <https://numpy.org>

34 Voir <https://www.r-project.org/about.html>

35 Voir <https://scratch.mit.edu>

- MachineLearningForKids<sup>36</sup>
- Teachable Machine<sup>37</sup>
- TensorFlow<sup>38</sup>
- Keras<sup>39</sup>
- OpenVINO<sup>40</sup>
- Scikit-learn<sup>41</sup>

• **Bases de données**

Lorsque le curriculum prévoit le développement d'outils d'IA dépendant de données, des bases de données sont nécessaires pour que les étudiants puissent tester les programmes et optimiser les algorithmes, par exemple :

- Coco, un ensemble de données de détection, de segmentation et de sous-titrage d'objets à grande échelle<sup>42</sup>
- ImageNet, une base de données d'images contenant plus de 14 millions d'images<sup>43</sup>

• **Outils et ressources pédagogiques pour les technologies de l'IA**

Quand on demande aux étudiants d'appliquer la méthodologie pédagogique aux technologies qui suivent le modèle « utiliser-modifier-crée », des exemples d'outils basés sur différentes catégories d'IA sont nécessaires. Il est important de mettre en valeur l'« approche agnostique » des technologies d'IA et d'expliquer aux élèves que la technologie d'IA ne se limite pas à une marque ou à un outil particulier.

- les générateurs d'images RAG (GAN en anglais), tels que GANpaint<sup>44</sup>
- les outils NLP, tels que Google Assistant<sup>45</sup> ou IBM Watson<sup>46</sup>

Des établissements universitaires et des sociétés commerciales proposent des cours ou des espaces de programmation en ligne pour l'apprentissage de l'IA. Ce rapport propose que, pour éviter que le programme relatif à l'IA ne soit lié à des marques ou à des outils d'IA particuliers, les autorités nationales ou locales chargées des programmes d'enseignement devraient sélectionner et valider des outils d'apprentissage sous licence ouverte ou non commerciaux, et créer des plateformes ou des espaces publics en ligne pour soutenir l'enseignement et l'apprentissage de l'IA.

**Propositions de pédagogies**

Les personnes ayant répondu à l'enquête ont été interrogées sur les recommandations pédagogiques incluses dans le curriculum ou dans son déroulement. Les différentes options parmi lesquelles elles devaient choisir sont présentées dans le **tableau 16**. Des sélections multiples étaient possibles, et elles avaient également la possibilité de fournir des réponses libres.

**Tableau 16. Propositions d'approches pédagogiques et de spécifications**

Approche pédagogique	Définition
Cours ou enseignement	Se réfère à des cours didactiques, dirigés par un enseignant. Les informations sont transmises oralement, par écrit ou par une combinaison de médias, par un enseignant, un animateur ou un expert.
Travail de groupe	Enseignement et apprentissage qui exigent que les élèves collaborent pour accomplir une ou plusieurs tâches. Le travail en groupe a pour but de permettre aux élèves d'aborder des tâches plus complexes et de mettre en pratique des compétences telles que le travail en équipe.
Apprentissage par projet	Les apprenants tirent parti de leurs aptitudes et compétences pour identifier et/ou répondre à un défi du monde réel sur une période de temps prolongée, facilitée par un enseignant. L'apprentissage par projet se caractérise par l'autonomie des élèves, la fixation d'objectifs, la collaboration et l'investigation de contextes du monde réel (Kokotsaki et al., 2016).
Apprentissage par l'activité	Les apprenants progressent à leur propre rythme grâce à des activités facilitées par un enseignant. L'apprentissage par activités a généralement lieu dans les salles de classe et il est conçu pour favoriser l'indépendance, l'exploration et l'expérimentation. Il est souvent lié à des présentations de travaux. Les principales caractéristiques de l'apprentissage par activités sont la participation active des élèves et la collaboration en classe (Anwar, 2019).

Source : UNESCO (2021b)

36 Voir <https://machinelearningforkids.co.uk>

37 Voir <https://teachablemachine.withgoogle.com>

38 Voir <https://www.tensorflow.org>

39 Voir <https://keras.io>

40 Voir <https://docs.openvino.ai/>

41 Voir <https://scikit-learn.org/stable>

42 Voir <http://cocodataset.org/#explore>

43 Voir <https://image-net.org>

44 Voir <http://gandissect.res.ibm.com/ganpaint.html>

45 Voir <https://assistant.google.com>

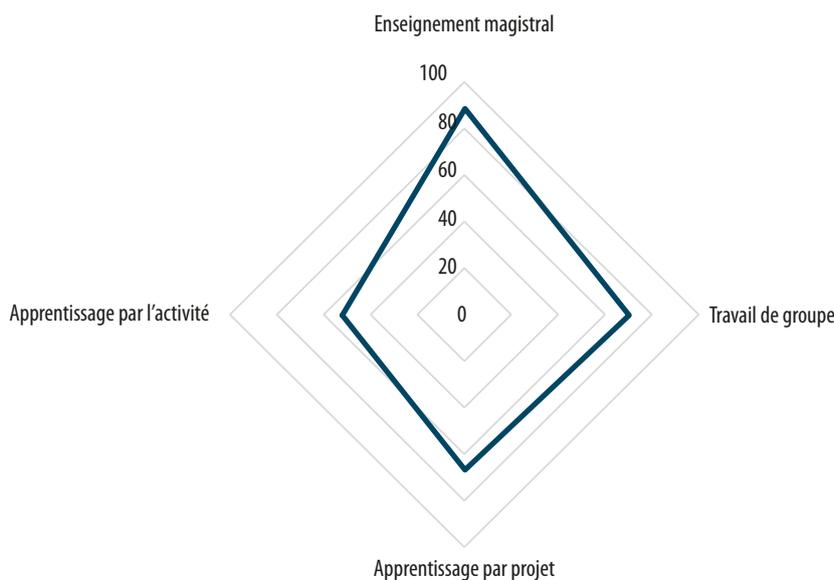
46 Voir <https://www.ibm.com/academic/home>

Les résultats montrent que la quasi-totalité des programmes scolaires reposent sur des cours magistraux ou des instructions (89 %), avec une forte dépendance vis-à-vis du travail en groupe et de l'apprentissage par projet. L'apprentissage par projet est en effet une caractéristique particulièrement importante de nombreux programmes d'études, tant nationaux qu'industriels. Par exemple, comme l'a noté le représentant du Portugal, son programme national utilise l'apprentissage par projet dans le cadre d'une approche interdisciplinaire :

// Notre programme d'études stipule que nous devons nous servir des approches d'apprentissage centrées sur l'étudiant, comme l'apprentissage par projet. C'est censé être la principale méthodologie pédagogique que les enseignants peuvent utiliser. Il est également nécessaire de promouvoir les approches interdisciplinaires. Les connaissances d'une matière doivent être liées aux connaissances des autres matières.

Le type de projets concernés, mais aussi leur durée, varient toutefois selon les programmes et les approches. Les projets peuvent être définis comme des activités limitées dans le temps, telles que l'utilisation d'un logiciel d'IA pour effectuer une tâche de traduction, l'utilisation de l'IA pour générer de l'art, ou la construction ou la manipulation de robots grâce à des kits de robotique. Dans le cas de programmes tels que l'IBM EdTech Youth Challenge, l'Intel AI for Youth, les deux programmes d'informatique et de technologie de l'information du Qatar et les Microsoft AI Youth Skills, ce type de travail constitue une partie essentielle de l'implication, les étudiants entreprenant la création d'un projet d'IA par le biais d'un cycle guidé de pensée conceptuelle. L'apprentissage par activités, en revanche, a été suggéré pour 14 programmes d'études (52 %) et a donc été moins mis en avant (voir **figure 14**).

**Figure 14.** Profil moyen d'implication pédagogique (n = 27)



Source : UNESCO (2021b)

De plus, l'apprentissage mixte et/ou à distance a été suggéré par tous les programmes d'études sauf trois (89 %), ce qui suggère une forte dépendance à l'égard de l'expertise à distance pour suivre les programmes. Les autres approches approuvées ou suggérées sont l'évaluation de l'apprentissage, l'éducation basée sur les compétences, le constructivisme, l'apprentissage par l'expérience et les pédagogies centrées sur l'étudiant.

Il est intéressant de noter que la plupart des programmes scolaires permettant l'apprentissage à distance ont été élaborés par le secteur public ou sous la supervision du gouvernement. Seuls deux programmes

qui utilisent l'apprentissage à distance ont été créés par le secteur privé : le *EdTech Youth Challenge* d'IBM et le *Digital Skills* d'Arabie saoudite.

Notons enfin que les programmes d'études mentionnés dans les réponses à l'enquête couvrent un large éventail d'applications de l'IA, de questions éthiques, d'outils et de techniques sans dépendre fortement de connaissances en mathématiques ou en programmation, et parfois sans s'appuyer explicitement sur la technologie.

### Exemple. Mise en œuvre, en Chine, du programme d'enseignement des sciences et technologies de l'information dans les écoles secondaires supérieures

En 2017, le ministère de l'Éducation de la République populaire de Chine a publié le programme d'enseignement de l'informatique pour les écoles secondaires supérieures. Ce programme est obligatoire au niveau national dans 225 000 écoles et touche plus de 180 millions d'élèves. Il est divisé en 10 modules : 2 modules obligatoires, 6 modules sélectifs (optionnels) proposés avec crédit et 2 modules sélectifs proposés sans crédit. Au total, le programme impose 54 heures de modules obligatoires et 72 heures de modules sélectifs, soit un total de 126 heures. Les aspects de l'IA sont inclus dans les modules obligatoires, à savoir « données et informatique » et « systèmes d'information et société » ; les modules obligatoires sélectifs (tous les étudiants doivent choisir l'un de ces modules) comprennent « bases de l'intelligence artificielle » et « gestion et analyse des données » ; le module optionnel s'intitule « introduction aux algorithmes ».

Le programme vise à aider les élèves à comprendre ce qu'est l'IA, comment elle fonctionne et quelles sont les questions sociétales qui entourent son utilisation. Bien que le programme soit obligatoire au niveau national, les provinces modifient sa mise en œuvre en fonction de la démographie de leur population, des ressources disponibles et des besoins éducatifs. Le représentant de la Chine l'explique ainsi :

“ Nous ne pouvons pas faire la même chose partout en Chine. Les besoins sont différents selon les régions. Dans les villes les plus modernes, par exemple, les habitants sont familiarisés avec les équipements, les smartphones et bien d'autres choses. Notre défi est de les guider pour qu'ils soient éthiques, respectent les autres et fassent les bonnes choses pour la société. Dans d'autres régions, les étudiants sont moins familiers avec les applications, le défi est donc de les guider pour qu'ils se familiarisent avec les équipements et les applications.

Avant d'être publié, le programme a été revu par des experts et testé auprès d'élèves de différents niveaux scolaires afin d'étudier l'attitude des apprenant vis-à-vis de son contenu. Le programme a ensuite été révisé sur la base de ces évaluations avant d'être publié.

La Chine a entrepris toute une série de préparatifs, notamment la réalisation de recherches, l'analyse des besoins, le développement des ressources, la formation des enseignants, l'installation des infrastructures, la fourniture aux écoles en équipements et matériel nécessaires, et aussi la montée en puissance des capacités en recrutant du personnel supplémentaire et en sollicitant le tiers secteur et des entreprises privées comme formateurs à temps partiel dans les écoles. Le curriculum fait appel à un large éventail de pédagogies, notamment l'enseignement direct, l'apprentissage mixte et à distance, le travail en groupe, l'apprentissage par projet et l'apprentissage par activité.

Pour soutenir la mise en œuvre de ces mesures, les enseignants de toutes les matières sont formés dans le cadre du programme de formation des enseignants au niveau national. Une partie de ce programme est axée sur les sciences et technologies de l'information et intègre l'IA. Le ministère de l'Éducation nationale organise deux sessions par an pendant les vacances scolaires, et tous les enseignants sont tenus de participer au programme une fois tous les trois ans. On observe un effort concerté pour s'assurer que les étudiants sont familiarisés avec une gamme d'équipements et d'applications, de sorte que les écoles et les enseignants contrôlent les types de technologie utilisés en classe. Au cours de la formation, les enseignants sont au contact d'équipements de marques variées et de différents types de plateformes et de technologies, et les types de technologies à utiliser ne sont pas explicitement indiqués dans le programme.

# Principales conclusions et recommandations

Les neuf conclusions-clefs et les treize recommandations présentées dans cette section se rapportent à quatre étapes principales de l'offre des programmes scolaires – élaboration et validation, intégration et gestion, contenu et résultats d'apprentissage, mise en œuvre – et sont classées ici selon cette logique.

## Élaboration et validation des programmes scolaires



**Principale conclusion n° 1** — Seul un nombre limité de programmes relatifs à l'IA ayant reçu la validation du gouvernement ont été réellement conçus et mis en œuvre.

À ce jour, 14 programmes d'IA ont été conçus et mis en œuvre par 11 gouvernements. Alors que les pays sont en train de rendre obligatoire l'inclusion de l'IA dans les curriculums par le biais de documents politiques, cela ne s'est pas traduit à ce jour par une intégration généralisée de l'IA dans les programmes scolaires de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année.

**Recommandation 1.1** : Des recherches complémentaires sont nécessaires pour déterminer dans quelle mesure la réforme des programmes d'enseignement du primaire et du secondaire est rendue obligatoire dans les documents de politique ou de stratégie nationale en matière d'IA, et dans quelle mesure ces missions ont été mises en œuvre, afin de mieux comprendre les mécanismes politiques utilisés et les facteurs favorables ou défavorables au développement et à la mise en œuvre des programmes d'enseignement de l'IA.



**Principale conclusion n° 2** — Un engagement gouvernemental fort et un mécanisme de validation sont nécessaires pour contrôler les intérêts concurrents dans le développement des programmes scolaires.

Il existe un large éventail de parties prenantes dans le secteur de l'IA, et beaucoup d'entre elles sont actives dans le développement ou la mise en œuvre de programmes scolaires. Les équipes chargées de l'élaboration des programmes relatifs à l'IA sont composées de représentants du gouvernement, de spécialistes du secteur marchand, d'universitaires et, dans certains cas, d'enseignants. Sans une coordination solide et un équilibre entre les contributions, des objectifs contradictoires peuvent se manifester dans les curriculums. Inversement, une coordination solide et des mécanismes de validation peuvent unifier les efforts d'une série de partenaires du secteur public et du tiers secteur vers des objectifs nationaux pour l'éducation en IA.

**Recommandation 2.1** : Il est nécessaire d'adopter une approche équilibrée, multidisciplinaire et collaborative de la production de curriculums relatifs à l'IA, sous la direction explicite du gouvernement. Indépendamment de son niveau de développement, chaque pays a accès à un éventail de compétences industrielles, de spécialistes et de praticiens de l'éducation, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des frontières nationales, et doit réfléchir à la manière dont ces compétences peuvent être validées, rendues publiques – pour ainsi dire décommercialisées – et conservées pour le bien des étudiants.

**Recommandation 2.2** : Inclure les enseignants dans le développement afin de s'assurer que le curriculum est applicable sur le terrain. Les enseignants peuvent fournir des conseils pratiques sur les connaissances et les compétences avec lesquelles les élèves entrent dans les différents niveaux scolaires, sur les défis logistiques de l'intégration de la technologie dans différents contextes et sur les méthodes les plus appropriées pour faire participer les élèves. Les enseignants sont également des experts dans l'explication de concepts complexes aux élèves et peuvent fournir des informations précieuses non seulement pour les programmes en tant que tels, mais aussi pour le matériel de soutien et de formation.

### **Principale conclusion n° 3** — Il est nécessaire de disposer d'une base de données probantes sur la qualité et l'efficacité des programmes relatifs à l'IA.

Les études publiées sur l'évaluation des programmes d'enseignement de l'IA restent rares, et aucune n'a été trouvée sur les effets de ces programmes sur le développement des compétences en IA des étudiants et le renforcement des capacités des ressources humaines dans les domaines de l'IA. Alors que certaines évaluations ou projets pilotes de programmes d'IA incluaient un retour d'information externe de la part des enseignants et des apprenants, d'autres se basaient uniquement sur l'examen du programme par des experts.

**Recommandation 3.1 :** Des études pilotes devraient être menées afin de recueillir les réactions des enseignants et des étudiants, ainsi que celles des experts universitaires et/ou de terrain. La mise en œuvre des programmes relatifs à l'IA et les répercussions produites sur les étudiants devraient faire l'objet d'une évaluation rigoureuse afin d'alimenter une base de données sur le sujet.

## Intégration et gestion des programmes d'études

### **Principale conclusion n° 4** — Le développement des ressources et la formation des enseignants sont essentiels à la mise en œuvre des programmes scolaires.

Près de 90 % des programmes scolaires ont été soutenus par le développement de ressources et/ou la formation des enseignants. Toutefois, ce n'est qu'un peu plus de la moitié d'entre eux qui ont fait l'objet d'une analyse des besoins afin d'avoir des informations sur les ressources ou les programmes de formation.

**Recommandation 4.1 :** S'impliquer et s'engager dans le développement des ressources et la formation des enseignants en recueillant d'abord des informations sur des éléments tels que les moyens humains existant dans le secteur, ainsi que les besoins en matière de formation et de soutien pour intégrer et mettre en œuvre un programme d'IA. Inclure les enseignants dans le développement des ressources et tester les ressources avant qu'elles soient distribuées aux enseignants et aux élèves. Prendre les dispositions nécessaires pour que les concepts et la pédagogie de l'IA soient présentés aux enseignants en poste et intégrés à la formation initiale des enseignants dans les établissements d'enseignement supérieur. Tirer parti des événements liés à l'IA pour former les enseignants.

### **Principale conclusion n° 5** — Les programmes relatifs à l'IA approuvés par le gouvernement ont tendance à être facultatifs ou intégrés dans les matières existantes dans les écoles.

La plupart des pays choisissent de mettre en œuvre l'IA dans le cadre d'une ou plusieurs matières existantes, ou bien encore en tant que matière facultative ou interdisciplinaire. Dans tous les cas, il est nécessaire de déterminer ce qui sera omis ou fera l'objet d'un résumé dans les programmes existants afin de créer un espace pour une mobilisation substantielle en faveur de l'IA. Les concepteurs de programmes doivent également se demander si l'IA doit être un sous-thème auquel seules quelques heures sont consacrées, ou un « sujet particulier » étudié en dehors des heures de cours, par exemple sur la base d'un intérêt personnel.

**Recommandation 5.1 :** Développer des plans d'intégration pour une série de sujets ou de thèmes existants à différents niveaux scolaires, qui peuvent soutenir la mise en œuvre des résultats d'apprentissage de l'IA dans différents domaines sans consommer une trop grande partie du temps d'enseignement d'une seule matière.

**Recommandation 5.2 :** Envisager des programmes d'enseignement de l'IA à modalités multiples qui incluent des éléments extrascolaires tels que des possibilités de mentorat et de participation à des concours.

## Contenu du programme et résultats d'apprentissage



**Principale conclusion n° 6** — Les objectifs et les résultats d'apprentissage des programmes d'IA devraient être axés sur les principales valeurs et compétences nécessaires pour travailler et vivre à l'ère de l'IA.

Il est généralement admis que les programmes d'enseignement de l'IA sont importants en ce qu'ils permettent de veiller à ce que les étudiants possèdent les compétences nécessaires pour travailler et vivre à l'ère de l'IA. Cependant, le développement de ces programmes a été entrepris avec un continuum d'objectifs et de domaines d'intérêt allant de la simple exposition à l'IA à l'expertise dans la construction de l'IA. Les curriculums définis à ce jour témoignent de diverses compréhensions de la progression de la complexité des tâches et des types de résultats d'apprentissage qui peuvent ou doivent être envisagés pour les élèves à différents niveaux scolaires. Les objectifs fixés pour le programme d'IA ont une incidence sur le volume horaire, le contenu du programme et les mécanismes d'intégration du programme. Le temps alloué à la compréhension des techniques d'IA, à l'apprentissage des technologies d'IA spécifiques à un domaine et au développement de l'IA est limité et insuffisant pour favoriser la créativité et les compétences nécessaires à la création d'outils d'IA innovants. En outre, sans une connaissance suffisante des techniques et des outils d'IA, une discussion autonome sur l'éthique ne suffit pas à orienter les étudiants vers une compréhension approfondie et une réelle capacité à appliquer les principes tout au long du cycle de vie de l'IA.

**Recommandation 6.1** : Les programmes d'enseignement de l'IA devraient s'aligner explicitement sur les objectifs et les stratégies de développement internationaux et nationaux. Une attention particulière devrait être accordée au développement de compétences pour le travail et l'existence humaine à l'ère de l'IA, qui peuvent être définies plus précisément dans des contextes particuliers, en offrant davantage de possibilités de créer des outils d'IA innovants et en intégrant l'éthique dans les contextes d'utilisation de l'IA pour résoudre des problèmes de la vie réelle.

**Recommandation 6.2** : Élaborer, adopter ou adapter une séquence cohérente d'activités et de résultats d'apprentissage adaptés à l'âge des élèves, en concertation avec des experts en programmes scolaires, des informaticiens et des professionnels de l'éducation, en tenant compte des objectifs finaux du curriculum, des motivations de son élaboration et des mandats des politiques nationales. Les interdépendances entre les différentes matières doivent être prises en compte.



**Principale conclusion n° 7** — Les résultats d'apprentissage de l'IA peuvent être mis en œuvre via des activités hors ligne et en ligne.

Les programmes scolaires inclus dans cet exercice de cartographie montrent que l'accès à la technologie n'est pas une condition préalable à la compréhension de l'IA et de ses effets sur la société, même s'il s'agit souvent d'une exigence pour ceux qui cherchent à aborder les applications pratiques, les composantes de la culture des données et le développement de l'IA. Il existe toute une série de ressources gratuites et d'outils et technologies d'apprentissage de l'IA à la disposition des enseignants et des étudiants.

**Recommandation 7.1** : Dans les contextes où les ressources sont limitées, les programmes scolaires peuvent se concentrer sur des domaines tels que la compréhension de l'IA, la reconnaissance des applications de l'IA dans la vie quotidienne, la réflexion sur les conséquences sociétales et la mobilisation de la pensée créatrice par le biais de prototypes en papier ou d'exercices de reconception ou de transformation de produits.

## Mise en œuvre du programme d'études



**Principale conclusion n° 8** — L'apprentissage par projet est généralement utilisé en tant que méthode pédagogique pertinente pour les programmes d'IA.

Un tiers des programmes scolaires de cette étude inclut l'apprentissage par projet comme stratégie pédagogique. Les avantages perçus de ce type d'apprentissage sont liés au développement de compétences pratiques et aux possibilités dans le domaine de la résolution de problèmes.

**Recommandation 8.1 :** Les concepteurs de programmes d'IA devraient envisager de tirer parti de pédagogies innovantes pour créer des opportunités interdisciplinaires afin de résoudre des défis bien réels auxquels sont confrontés les étudiants et leurs communautés, comme moyen de développer des compétences en matière de pensée critique, d'esprit d'entreprise, de communication et de travail en équipe.



**Principale conclusion n° 9** — Les programmes d'enseignement de l'IA ne doivent pas être liés à des technologies ou à des marques spécifiques.

S'il est nécessaire de développer des environnements d'apprentissage adaptés à la mise en œuvre des programmes, l'enseignement de l'IA ne doit en revanche pas se limiter à des marques ou des produits particuliers. Les étudiants doivent acquérir des connaissances de base, des compétences transférables et une orientation de valeur sur l'application de l'IA dans différents domaines et contextes. En raison de la vitesse du changement et du développement de nouvelles technologies et de nouvelles marques, les curriculums qui dépendent d'un produit peuvent perdre rapidement leur pertinence et les connaissances des étudiants liées à une marque peuvent ne pas être réutilisables lorsqu'ils sont confrontés à de nouveaux contextes ou à des problèmes de la vie réelle.

**Recommandation 9.1 :** L'élaboration des programmes devrait être axée sur les résultats de l'apprentissage et l'application des principes et des processus de l'IA plutôt que sur la capacité à utiliser des plateformes, des dispositifs ou des produits spécifiques. Dans la mesure du possible, les curriculums devraient faire appel à un large éventail de technologies différentes.

**Recommandation 9.2 :** Chaque fois que cela est nécessaire, investir dans une infrastructure de base permettant d'utiliser une large gamme de technologies d'IA et d'outils d'apprentissage. Veiller à ce que la formation des enseignants et les autres mécanismes d'accompagnement scolaire, tels que l'assurance qualité ou les examens de performance, soient structurés de manière adéquate pour garantir que cette infrastructure puisse être utilisée pour des résultats d'apprentissage donnés.

## Commentaire final

L'arrivée de l'IA dans la vie quotidienne et le travail a déjà fondamentalement modifié la façon dont les individus interagissent au sein de la société dans laquelle ils vivent, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Elle soulève des questions majeures, par exemple sur l'expression et la protection des droits de l'Homme, la responsabilité juridique en cas de préjudice lié à l'IA et l'orientation philosophique du développement et de l'utilisation de l'IA. L'IA continuera à changer la nature de la vie personnelle et professionnelle, et c'est pourquoi une compréhension de base de l'IA constitue désormais un élément essentiel du concept de « citoyen éduqué », que celui-ci devienne ou non un spécialiste de l'IA.

Compte tenu de l'importance des compétences en IA, de la trajectoire du domaine de l'IA et de son intégration dans d'autres domaines, il peut paraître surprenant que si peu de pays aient cherché à inclure de manière formelle une formation relative à ce domaine dans l'enseignement de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. Les gouvernements qui ont investi dans ce domaine l'ont fait en reconnaissant que les compétences en IA sont essentielles à l'économie actuelle et future de leur pays, mais aussi à la pleine participation des citoyens à la vie de la société. En comprenant ce qu'est l'IA, comment

elle fonctionne et ce qu'elle peut faire, les élèves sont en mesure de mieux comprendre leur monde, de défendre leurs droits et ceux des autres, et aussi de mettre la technologie et les données au service du bien public.

Les gouvernements sont invités à veiller à ce que ces possibilités soient offertes à tous leurs citoyens par la création de programmes d'enseignement de l'IA avec des résultats d'apprentissage correctement séquencés, alignés sur les objectifs politiques nationaux et les normes internationales en matière de droits de l'Homme et d'éthique. Ils sont en outre encouragés à accorder une nécessaire attention au développement de la créativité des étudiants en matière d'IA et à leur compréhension de l'éthique par un engagement réel dans les algorithmes et les données qui sous-tendent les outils d'IA. Les gouvernements devraient également appliquer l'approche humaniste à l'élaboration et à la mise en œuvre des programmes d'IA afin de garantir la protection des droits fondamentaux des personnes, y compris la confidentialité des données, et la promotion de l'inclusion, de l'équité et de l'égalité des sexes. Enfin, il est essentiel de veiller à fournir de manière satisfaisante des ressources non propriétaires et à former les enseignants en fonction des besoins.

## Références

- AAAI. 2018. *AAAI launches "AI for K-12" initiative in collaboration with the Computer Science Teachers Association (CSTA) and AI4All*. Palo Alto, Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI). Disponible à : <https://m.aaai.org/Pressroom/Releases/release-18-0515.pdf> (dernier accès le 11 août 2023.)
- AI4K12. 2020. *Draft Big Idea 1 - Progression Chart*. Alexandria, AI4K12. Disponible à : <https://ai4k12.org/wp-content/uploads/2021/01/AI4K12-Big-Idea-1-Progression-Chart-Working-Draft-of-Big-Idea-1-v.5.28.2020.pdf> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Anwar, F. 2019. Activity-based teaching, student motivation and academic achievement. *Journal of Education and Educational Development*, Vol. 6., No. 1. Karachi, Institute of Business Management, pp. 154-170. Disponible à : <http://jmsnew.iobmresearch.com/index.php/joed/article/view/91/385> (dernier accès le 11 août 2023.)
- BIE. 2013. *IBE Glossary of Curriculum Terminology*. Genève, Bureau international d'éducation (BIE) de l'UNESCO. Disponible à : [http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/IBE\\_GlossaryCurriculumTerminology2013\\_eng.pdf](http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/Publications/IBE_GlossaryCurriculumTerminology2013_eng.pdf) (dernier accès le 19 novembre 2021.)
- Biggs, J. et Collis, K. 1982. *Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy*. New York, Academic Press, Inc.
- Brewer, L. et Comyn, P. 2015. *Integrating core work skills into TVET systems: Six country case studies*. Genève, Organisation internationale du Travail (OIT). Disponible à : [https://www.ilo.org/global/docs/WCMS\\_470726](https://www.ilo.org/global/docs/WCMS_470726) (dernier accès le 11 août 2023.)
- Buchanan, R. 1992. Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, Vol. 8, No. 2. Cambridge, MIT Press, pp. 5-21. Disponible à : [https://web.mit.edu/jrankin/www/engin\\_as\\_lib\\_art/Design\\_thinking.pdf](https://web.mit.edu/jrankin/www/engin_as_lib_art/Design_thinking.pdf) (dernier accès le 11 août 2023.)
- Bughin, J., Seong, J., Manyika, J., Chui, M. et Joshi, R. 2018a. *Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy. McKinsey Discussion Paper*. New York, McKinsey & Company. Disponible à : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Bughin, J., Hazan, E., Lund, S., Dahlström, P., Wiesinger, A. et Subramaniam, A. 2018b. *Skill Shift: Automation and the Future of the Workforce*. New York, McKinsey & Company. Disponible à : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce> (dernier accès le 11 août 2023.)
- CANTA (Caribbean Association of National Training Agencies). 2014. *Report on the CANTA Consultative Review of the CARICOM Regional Strategy for TVET (1990)*. Georgetown, CARICOM.
- CBSE. 2020. *Artificial Intelligence Integration Across Subjects*. New Delhi, Central Board of Secondary Education (CBSE). Disponible à : [http://cbseacademic.nic.in/web\\_material/manuals/aiintegrationmanual.pdf](http://cbseacademic.nic.in/web_material/manuals/aiintegrationmanual.pdf) (dernier accès le 11 août 2023.)
- CBSE et Intel. 2019. *Artificial Intelligence Curriculum, Class 9 Facilitator Handbook*. New Delhi/Bangalore, Central Board of Secondary Education (CBSE) et Intel Inde. Disponible à : [http://cbseacademic.nic.in/web\\_material/Curriculum20/AI\\_Curriculum\\_Handbook.pdf](http://cbseacademic.nic.in/web_material/Curriculum20/AI_Curriculum_Handbook.pdf) (dernier accès le 11 août 2023.)
- Cedefop. 2017. *Defining, writing and applying learning outcomes: A European handbook*. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne. Disponible à : <http://doi.org/10.2801/566770> (dernier accès le 11 août 2023.)
- COMEST. 2019. *Étude préliminaire sur l'Éthique de l'intelligence artificielle*. Paris, Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (COMEST). Disponible à : [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367823\\_fre](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367823_fre) (dernier accès le 11 août 2023.)
- Engler, A. 2021. *Enrollment Algorithms are Contributing to the Crises of Higher Education. Brookings [Online]*. Washington, D.C., The Brookings Institution. Disponible à : <https://www.brookings.edu/research/enrollment-algorithms-are-contributing-to-the-crises-of-higher-education> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Frantzman, S. et Atherton, K. 2019. *Israel's Rafael Integrates Artificial Intelligence into Spice Bombs*. C4ISRNet [Online]. Vienne, C4ISRNet. Disponible à : <https://www.c4isrnet.com/artificial-intelligence/2019/06/17/israels-rafael-integrates-artificial-intelligence-into-spice-bombs> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Gazibara, S. 2013. 'Head, heart and hands learning' – A challenge for contemporary education. *Journal of Education Culture and Society*, Vol. 4, No. 1. Wrocław, Foundation Pro Scientia Publica, pp. 71-82. Disponible à : <https://doi.org/10.15503/jecs20131.71.82> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Haste, H. 2004. Constructing the citizen. *Political Psychology*, Vol. 25, No. 3. Columbus, International Society of Political Psychology, pp. 413-439. Disponible à : <https://www.jstor.org/stable/3792550> (dernier accès le 11 août 2023.)
- . 2018. *Attitudes and Values and the OECD Learning Framework 2030: A critical review of definitions, concepts and data. Education and Skills 2030: Conceptual learning framework*. Paris, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), pp. 33-62. Disponible à : [https://www.oecd.org/education/2030-project/contact/Draft\\_Papers\\_supporting\\_the\\_OECD\\_Learning\\_Framework\\_2030.pdf](https://www.oecd.org/education/2030-project/contact/Draft_Papers_supporting_the_OECD_Learning_Framework_2030.pdf) (dernier accès le 11 août 2023.)

- Haenlein, M. et Kaplan, A. 2019. A brief history of AI: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California Management Review*, Vol. 61, No. 4. Thousand Oaks, Sage Publishing, pp. 5-14.
- Hasso Plattner Institute of Design. 2010. *An Introduction to Design Thinking: Process Guide*. Stanford, Hasso Plattner Institute of Design. Disponible à : <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf> (dernier accès le 11 août 2023.)
- Hobcraft, P. 2017. *Improving the Potential for Innovation through Design Thinking*. Bonn, HYPE. Disponible à : <https://www.hypeinnovation.com/hubfs/content/reports/design-thinking-improving-potential-innovation.pdf> (dernier accès le 5 janvier 2022.)
- Jobin, A., Lenca, M. et Vayena, E. 2019. The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, Vol. 1. London, Springer Nature Limited, pp. 389-399.
- Kelly, J. 2020. U.S. lost over 60 million jobs—Now robots, tech and artificial intelligence will take millions more. *Forbes*. [En ligne] Disponible à : <https://www.forbes.com/sites/jackkelly/2020/10/27/us-lost-over-60-million-jobs-now-robots-tech-and-artificial-intelligence-will-take-millions-more> (dernier accès le 26 octobre 2021.)
- Kinta, G. 2013. Theoretical background for a learning-outcomes-based approach to vocational education. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE)*, Vol. 3, No. 3. Londres, Infonomics Society, pp. 1533-1541. Disponible à : <http://dx.doi.org/10.20533/ijcdse.2042.6364.2013.0215> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Kolb, D. 2015. *Experiential Learning: Experience as The Source of Learning and Development* (2nd ed.). Upper Saddle River, Pearson FT Press.
- Kokotsaki, D., Menzies, V. et Wiggins, A. 2016. Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, Vol. 19, No. 3. Thousand Oaks, Sage Publishing, pp. 267-277.
- Kush, J. 2019. Computational thinking as a pedagogical tool for Ukrainian students. *Professionalism of the Teacher: Theoretical and Methodological Aspects*, Vol. 9. Slavyansk, Donbass State Pedagogical University, pp. 21-27. Disponible à : <https://doi.org/10.31865/2414-9292.9.2019.174532> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Kynigos, C. 2015. Constructionism: Theory of learning or theory of design? S. J. Cho (ed), *Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education*. New York, Springer, Cham, pp. 417-438.
- Lao, N. 2020. *Reorienting machine learning education towards tinkers and ML-engaged citizens*. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.
- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erikson, J., Malyn-Smith, J. et Werner, L. 2011. Computational thinking for youth in practice. *ACM Inroads*, Vol. 2, No. 1. New York, ACM, pp. 32-37.
- Lodi, M. et Martini, S. 2021. Computational thinking, between Papert and Wing. *Science & Education*, Vol. 30, No. 4. Londres, Springer Nature, pp. 883-908. Disponible à : <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00202-5> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Long, D. et Magerko, B. 2020. What is AI literacy? Competencies and design considerations. *CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 2020. New York, ACM, Inc., pp. 1-16.
- Lopez, B., Whitaker, R., Harris, P. et Wines, L. 2015. Navigating a Digital Textbook or Online Lab. C. J. Sheperis et R. J. Davis (eds), *Online Counselor Education: A Guide for Students*. Los Angeles, Sage Publishing, pp. 107-128.
- Lund, S., Madgavkar, A., Manyika, J., Smit, S., Ellingrud, K. et Robinson, O. 2021. *The Future of Work after COVID-19*. New York, McKinsey & Company. Disponible à : <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19> (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- Mahdavinejad, M.S., Rezvan, M., Berekatain, M., Adibi, P., Barnaghi, P. et Sheth, A. 2018. Machine learning for Internet of Things data analysis: A survey. *Digital Communications and Networks*, Vol. 4, No. 3. Chongqing, Chongqing University of Posts and Telecommunications, pp. 161-175. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.002> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Miao, F., Holmes, W., Huang, R. et Zhang, H. 2021. *IA et éducation: guide pour les décideurs politiques*. Paris, UNESCO. Disponible à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709> (dernier accès le 18 novembre 2021.)
- Miao, F. et Holmes, W. 2020. *International Forum on AI and the Futures of Education, Developing Competencies for the AI Era: Synthesis report*. Paris, UNESCO. Disponible à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377251> (dernier accès le 18 novembre 2021.)
- Microsoft. 2021. *Microsoft Computer Science Curriculum Toolkit*. Redmond, Microsoft. Disponible à : <https://edudownloads.azureedge.net/msdownloads/Microsoft-Computer-Science-Framework.pdf> (dernier accès le 18 novembre 2021.)
- Ministry of Education, India. 2020. *CBSE Artificial Intelligence*. New Delhi, Ministry of Education, India.
- Ministère fédéral du Numérique et des Affaires économiques, Autriche. 2018. *71st regulation: Changes to the ordinance on the curricula of the new secondary schools and the ordinance on the curricula of general secondary schools*. Vienne, Federal Ministry for Digital and Economic Affairs. (In German.) Disponible à : [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2018\\_II\\_71/BGBLA\\_2018\\_II\\_71.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2018_II_71/BGBLA_2018_II_71.html) (dernier accès le 5 janvier 2022.)
- Mulder, M. 2007. Competence: The essence and use of the concept in ICVT. *European Journal of Vocational Training*, Vol. 40. Thessaloniki, Cedefop – European Centre for the Development of Vocational Training, pp. 5-21. Disponible à : <https://www.cedefop.europa.eu/files/40-en.pdf> (dernier accès le 14 décembre 2021.)

- NCLSporg. 2017. *Susan Patrick and Chris Sturgis: Webinar | Overview of K-12 Competency-Based Education* [Online video]. Disponible à : [https://youtu.be/46K6OQa\\_DfM](https://youtu.be/46K6OQa_DfM) (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- OCDE. 2019. *Le Futur de l'éducation et des compétences : Projet Éducation 2030 de l'OCDE*. Paris, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Disponible à : [https://www.oecd.org/education/OECD-Education-2030-Position-Paper\\_francais.pdf](https://www.oecd.org/education/OECD-Education-2030-Position-Paper_francais.pdf) (dernier accès le 10 août 2023.)
- Papert, S. et Harel, I. 1991. *Constructionism*. Norwood, Ablex Publishing Corporation.
- Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. 2006. *Recommandation du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 sur les compétences clés pour l'éducation et la formation tout au long de la vie*. Bruxelles, Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. Disponible à : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:394:0010:0018:fr:PDF> (dernier accès le 10 août 2023.)
- Piaget, J. 1972. *The Principles of Genetic Epistemology*. Londres, Routledge & Kegan Paul.
- Razzouk, R. et Shute, V. 2012. What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, Vol. 82, No. 3. Washington DC, American Educational Research Association, pp. 330-348.
- Rutayuga, A.B. 2014. *The emerging Tanzanian concept of competence: conditions for successful implementation and future development* (Unpublished doctoral dissertation). Londres, Université de Londres. Disponible à : <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10021640/1/PhD%20-%20Full%20Thesis%20-%20ABRutayuga%20-%20October%202014.pdf> (dernier accès le 19 novembre 2021.)
- Shiohira, K. 2021. *Understanding the Impact of Artificial Intelligence on Skills Development*. Paris/Bonn, UNESCO/ UNESCO-UNEVOC International Centre for Technical and Vocational Education and Training. Disponible à : [https://unevoc.unesco.org/pub/understanding\\_the\\_impact\\_of\\_ai\\_on\\_skills\\_development.pdf](https://unevoc.unesco.org/pub/understanding_the_impact_of_ai_on_skills_development.pdf) (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- Singleton, J. 2015. Head, heart and hands Model for transformative learning: Place as context for changing sustainability values. *Journal of Sustainability Education*, Vol. 9. Prescott, Prescott College PhD Program in Sustainability Education. Disponible à : <http://www.jsedimensions.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/03/PDF-Singleton-JSE-March-2015-Love-Issue.pdf> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Sinha, G. 2020. *Assessment Tools for Mapping Learning Outcomes with Learning Objectives*. Hershey, IGI Global.
- Sipos, Y., Battisti, B., et Grimm, K. 2008. Achieving transformative sustainability learning: Engaging head, hands and heart. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, No. 1. Bingley, Emerald Group Publishing Limited, pp. 68-86. Disponible à : <https://doi.org/10.1108/14676370810842193> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Taber, K. 2016. Constructivism in education: Interpretations and criticisms from science education. E. Railean (ed), *Handbook of Applied Learning Theory and Design in Modern Education*. Hershey, IGI Global, pp. 116-144. Disponible à : <https://science-education-research.com/downloads/publications/2016/Taber-2016-2019-Constructivism-In-Education-AMV.pdf> (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- Taber, K. S. 2019. Constructivism in Education: Interpretations and Criticisms from Science Education. *Early Childhood Development: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. Hershey, IGI Global, pp. 312-342.
- UNDESA, UNESCO, WFEO et Bureau de l'Envoyé du Secrétaire général pour les technologies. 2021. *Resource Guide on Artificial Intelligence Strategies*. New York, Nations Unies. Disponible à : [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-06/Resource%20Guide%20on%20AI%20Strategies\\_June%202021.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-06/Resource%20Guide%20on%20AI%20Strategies_June%202021.pdf) (dernier accès le 23 novembre 2021.)
- UNESCO. 2015. *QDéclaration de Qingdao, 2015: saisir les opportunités du numérique, piloter la transformation de l'éducation*. Paris, UNESCO. Disponible à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000233352> (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- . 2019a. *Artificial Intelligence in Education: Challenges and opportunities for sustainable development*. Paris, UNESCO. Disponible à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994> (dernier accès le 19 novembre 2021.)
- . 2019b. *Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation*. Paris, UNESCO. Disponible à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303> (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- . 2021a. *Stratégie de l'UNESCO sur l'innovation technologique dans l'éducation (2022-2025)*. Paris, UNESCO. Disponible à : [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378847\\_fre](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378847_fre) (dernier accès le 28 octobre 2021.)
- . 2021b. *Survey for Mapping of AI Curricula*. Unpublished (Submitted to UNESCO).
- . 2023. *Recommandation sur l'Éthique de l'Intelligence Artificielle*. Paris, UNESCO. Disponible à : [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386510\\_fre](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386510_fre) (dernier accès le 23 novembre 2021.)
- Williams, M. 2017. John Dewey in the 21st Century. *Journal of Inquiry & Action in Education*, Vol. 9, No. 1. Buffalo, Buffalo State, pp. 91-102. Disponible à : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1158258.pdf> (dernier accès le 14 décembre 2021.)
- Williams, R., Kaputsos, S. et Breazeal, C. 2021. Teacher Perspectives on How To Train Your Robot: A Middle School AI and Ethics Curriculum. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 35 No. 17. Menlo Park, Association for the Advancement of Artificial Intelligence, pp. 15678-15686. Disponible à : <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/17847> (dernier accès le 16 décembre 2021.)

# Annexe

## Enquête envoyée aux représentants des États membres

### Cartographie par l'UNESCO des programmes d'enseignement de l'IA validés par les gouvernements

L'objectif de cette enquête est de recueillir des informations de qualité sur **les programmes d'enseignement de l'intelligence artificielle (IA) concernant les niveaux scolaires primaire et secondaire** (de la maternelle à la terminale ou un niveau équivalent) approuvés ou validés au niveau gouvernemental. Il peut s'agir d'un programme distinct (par exemple, une matière principale, ou une matière facultative, appelée IA), d'une partie d'un programme (par exemple, des unités ou des concepts d'IA à l'intérieur d'un programme de TIC ou d'une autre matière), d'une matière extrascolaire ou répartie entre plusieurs matières. Les informations seront utilisées dans le cadre d'une étude cartographique de l'UNESCO qui vise à identifier les pays dans lesquels des programmes d'enseignement de l'IA sont développés et mis en œuvre, les niveaux scolaires concernés par ces programmes, le positionnement de ces programmes en tant que sujets indépendants ou existant au sein d'autres matières, et ce qui est couvert par ces programmes.

Les réponses multiples sont autorisées dans cette enquête. Si plusieurs programmes d'enseignement de l'IA sont créés et développés ou mis en œuvre par différents acteurs dans votre contexte, ou s'il existe des différences dans le développement, la validation, l'évaluation, etc. de différents niveaux scolaires que vous souhaitez mettre en évidence, veuillez répondre séparément pour chaque cas.

Votre contribution est très appréciée et permettra d'enrichir la base de connaissances mondiale sur l'IA dans l'éducation.

Votre participation à cette enquête vaut approbation de la démarche et pour l'utilisation des informations recueillies dans l'étude cartographique et dans toute publication ultérieure de l'UNESCO.

### Informations générales

1. Quel pays, quel(s) organisme(s) régional(aux), international(aux) ou intergouvernemental(s) représentez-vous dans vos réponses à cette enquête ? (réponse libre, réponse courte)
2. Avez-vous connaissance de l'élaboration ou de la mise en œuvre d'un programme d'enseignement de l'IA pour les élèves de la maternelle à la terminale dans votre pays/contexte ? [NB : Le programme peut être spécifique (portant uniquement sur l'IA), intégré dans une autre matière (telle que les TIC/TI), ou transversal (intégré dans plusieurs matières). Le responsable de la mise en œuvre du programme peut être le gouvernement national, un ou des prestataire(s) privé(s) ou une ou des ONG].
  - Non
  - Oui, il existe un programme d'études sur l'IA (y compris un programme d'études sur l'IA ou plusieurs programmes d'études sur l'IA) élaboré et validé

Si votre pays dispose de programmes d'enseignement de l'IA validés par le gouvernement et que vous êtes désigné comme point de référence pour l'étude cartographique de l'UNESCO sur les programmes d'enseignement de l'IA, l'UNESCO pourra vous contacter si nous avons des questions supplémentaires.

3. Veuillez indiquer votre nom
4. Veuillez indiquer votre adresse de courriel
5. Veuillez indiquer toute autre coordonnée de contact

### Cursus IA 1

[Si plusieurs programmes d'enseignement de l'IA sont en cours d'élaboration et de validation, veuillez fournir les informations pour chacun d'entre eux séparément en indiquant le nombre de programmes supplémentaires à la fin de cette page et en passant à la page suivante, ou prenez contact avec l'UNESCO pour établir une carte des programmes d'enseignement de l'IA].

6. Quel est le nom du programme d'études sur l'IA ? (réponse libre)

7. Qui a conçu ce programme d'études ? (réponse libre, réponse courte)
8. Est-ce que le concepteur relève :
- du secteur public (par ex. le gouvernement)
  - du secteur privé (par ex. une entreprise/société)
  - du tiers secteur (par ex. une ONG, un organisme de la société civile, un organisme d'utilité publique, etc.)
  - autre (précisez)
9. Comment le programme d'études est-il validé ? Si les différents niveaux du programme d'études sont approuvés de manières distinctes, veuillez expliquer sous « autre » (cochez toutes les cases qui s'appliquent).
- Le gouvernement national a rendu obligatoire ou approuvé l'application de ce programme dans les établissements scolaires.
  - Les instances locales (par exemple, les districts ou les provinces) ont rendu obligatoire ou approuvé l'application de ce programme dans les établissements scolaires.
  - Un ou plusieurs établissements scolaires ont rendu obligatoire ou approuvé l'application de ce programme.
  - Le programme d'études permet d'obtenir une certification privée.
  - Aucune de ces réponses
  - Autre (précisez)
10. Comment le programme d'études est-il positionné dans le cadre gouvernemental des programmes scolaires ? (cochez toutes les cases qui s'appliquent)
- Dans les établissements, comme matière obligatoire pour l'obtention de crédits
  - Dans les établissements, comme matière facultative ou optionnelle ouvrant droit à des crédits
  - Dans les établissements, dans le cadre de la matière TIC/TI requise pour l'obtention de crédits
  - Dans les établissements, dans le cadre d'une matière TIC/TI optionnelle ou facultative donnant droit à des crédits.
  - En tant que matière interdisciplinaire ou transdisciplinaire dans les établissements
  - En tant qu'activité périscolaire dans les établissements
  - En tant qu'activité extra-scolaire (par exemple, clubs, hackathons, à la maison)
  - Autre (précisez)
11. Combien d'établissements sont actuellement concernés par ce programme ? Si le programme est encore en cours de développement, veuillez entrer un zéro. (réponse limitée à un chiffre égal ou supérieur à 0)
12. Combien d'élèves sont concernés par ce programme ? Si vous ne le savez pas, veuillez laisser cette question en blanc.
- Sexe masculin
  - Sexe féminin
  - Général (au cas où le sexe est inconnu)
13. Quels sont les niveaux scolaires concernés par ce programme ? (sélectionnez toutes les réponses qui s'appliquent)
- Premier primaire : Maternelle - Niveau 2
  - Primaire tardif : de la troisième année à la fin de l'école primaire
  - Collège
  - Lycée
  - Autre (expliquer, réponse libre)
14. Quel est le nombre total d'heures de formation attribuées au programme d'études ? Si plus d'une option est disponible (si par exemple s'il existe une prolongation optionnelle), veuillez fournir toutes les heures avec un bref libellé de ce qu'elles décrivent. (réponse libre)
- Premier primaire : Maternelle – Niveau 2
  - Primaire tardif : de la troisième année à la fin de l'école primaire
  - Collège
  - Lycée
  - Collège
  - Lycée
15. Si vous considérez le programme d'études de l'IA dans son ensemble, quel pourcentage du temps d'enseignement total estimez-vous être alloué à chacun des éléments suivants (si aucun volume horaire n'est consacré à l'élément, veuillez laisser en blanc) :
- Algorithmes et programmation

- Applications de l'IA à des domaines autres que les TIC (par ex. l'art, la musique, les études sociales, les sciences, la santé, etc.)
  - Résolution de problèmes contextuels
  - Connaissance des données (par ex. statistiques, collecte de données, prétraitement, modélisation des données, analyse, interprétation, visualisation)
  - Éthique de l'IA / IA éthique (p. ex. préjugés, vie privée, etc.)
  - Implications sociales ou sociétales de l'IA (par ex. les tendances telles que le déplacement de la main-d'œuvre, les modifications des cadres juridiques, la création de mécanismes de gouvernance, etc.)
  - Compréhension et utilisation des techniques d'IA (par ex. l'apprentissage automatique au sens large du terme, l'apprentissage non supervisé/supervisé/renforcé/profond, les réseaux neuronaux, etc.)
  - Compréhension et utilisation des technologies de l'IA (par ex. le traitement du langage naturel, la vision par ordinateur, etc.) (si oui, veuillez préciser les technologies concernées)
  - Développement de technologies d'IA (par ex. traitement du langage naturel, vision par ordinateur, etc.) (si oui, veuillez préciser les technologies concernées)
16. Quels outils et environnements d'apprentissage sont proposés par le programme d'études ? (réponse libre)
17. Quelle préparation ou mobilisation des enseignants a lieu/a eu lieu afin de mettre en œuvre efficacement ce programme ? (Cochez toutes les cases qui s'appliquent)
- Recherche ou analyse des besoins liés à la mise en œuvre du programme d'études
  - Création et développement de ressources pour les enseignants (manuels, plans de cours, etc.)
  - Formation des enseignants sur le programme et les ressources
  - Embauche de personnel supplémentaire/capacité des écoles à mettre en œuvre le programme d'études
  - Recours au secteur privé ou au tiers secteur pour les formateurs à temps partiel dans les établissements
  - Amélioration des infrastructures dans les établissements
  - Achat de ressources supplémentaires pour les établissements/classes
  - Autre (précisez)
18. Quelles sont les propositions de méthodologies d'enseignement ou d'approches pédagogiques qui sont mises en avant dans le programme d'études et/ou toute formation et ressource associée ? (cochez toutes les cases qui s'appliquent)
- Cours ou enseignement
  - Apprentissage mixte (par ex., apprentissage qui se déroule en partie en face-à-face et en partie à distance).
  - Apprentissage à distance
  - Travail en groupe
  - Apprentissage par projet (par ex., les apprenants tirent parti de leurs aptitudes et compétences pour identifier et/ou répondre à un défi du monde réel sur une période de temps assez longue)
  - Apprentissage par activités (par ex., les apprenants progressent à travers des activités rendues possibles par un enseignant, à leur propre rythme).
19. Le programme d'enseignement de l'IA a-t-il été évalué ?
- Non
  - Oui, veuillez expliquer comment le programme a été évalué
20. Le programme de l'IA a-t-il été révisé sur la base de l'évaluation ?
- Non
  - Oui, veuillez expliquer comment le programme a été révisé
21. La documentation relative au programme d'études, même sous forme de projet, est-elle disponible pour examen par l'équipe de cette enquête ?
- Non
  - Oui
22. [S'il existe plus d'un programme d'AI, veuillez sélectionner combien et passer à la page suivante.]47

47 Quand on ajoute d'autres programmes d'IA, le questionnaire répète les questions 6 à 21, pour un maximum de 13 programmes.



# unesco

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

## Enseigner l'intelligence artificielle au primaire et au secondaire :

### Cartographie des programmes validés par les gouvernements

Les réglementations ne suffisent pas à elles seules à faire de l'IA un bien commun pour l'éducation et l'humanité. Tous les citoyens doivent posséder certain niveau d'alphabétisation en matière d'IA, qui touche aux valeurs, aux connaissances et aux compétences liées à l'IA. Ce rapport présente les principales conclusions et recommandations tirées de l'enquête mondiale de l'UNESCO sur les programmes d'enseignement de l'IA de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. Il révèle que seuls onze pays ont élaboré et validé des programmes d'IA dans l'enseignement primaire et secondaire et que quatre autres pays ont des programmes d'IA en cours d'élaboration. Il ressort de ce constat un appel pressant aux États membres pour qu'ils élaborent des programmes d'enseignement de l'IA à destination des enfants et des adolescents concernés et qu'ils mettent en place des mécanismes plus solides pour valider les programmes non gouvernementaux, afin d'harmoniser les approches privées. Le rapport révèle également que les résultats d'apprentissage des programmes d'IA doivent être davantage axés sur la promotion de la créativité dans l'élaboration des technologies d'IA et sur l'éthique contextuelle. La formation des enseignants est essentielle pour garantir la mise en œuvre des programmes d'IA ; les enseignants doivent être formés à la conception et à la facilitation de l'apprentissage par projet, qui est la méthodologie pédagogique la plus couramment utilisée dans les programmes d'IA existants. Le rapport recommande également une « approche agnostique » vis-à-vis des marques et des produits d'IA lors de l'introduction de technologies spécifiques à un domaine.

## Contact

Unité pour la Technologie et l'IA dans l'éducation  
Équipe pour l'Avenir de l'apprentissage et l'Innovation  
Secteur de l'éducation  
UNESCO  
7, place de Fontenoy  
75007 Paris, France

✉ [aied@unesco.org](mailto:aied@unesco.org)

🐦 [@UNESCOICTs](https://twitter.com/UNESCOICTs)

📘 [@UNESCOICTinEducation](https://www.facebook.com/UNESCOICTinEducation)

🌐 <https://www.unesco.org/fr/digital-education>

