



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Intelligence artificielle et éducation

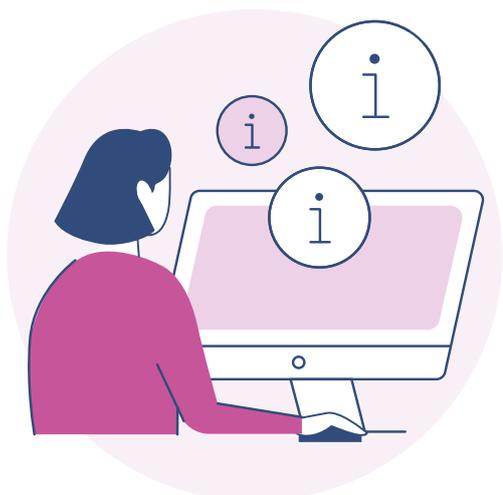
Apports de la recherche
et enjeux pour les politiques
publiques

Janvier 2025



État des lieux sur les apports de la recherche et les lignes directrices des institutions internationales sur l'intelligence artificielle et l'éducation :

définitions et approches, politiques publiques, enjeux juridiques et éthiques, applications, tournant des IA génératives.



Current situation on the Research Contributions Guidelines of international institutions on artificial intelligence and education:

definitions and proposals, public policies, legal and ethical issues, applications, turning point of Generative AI.

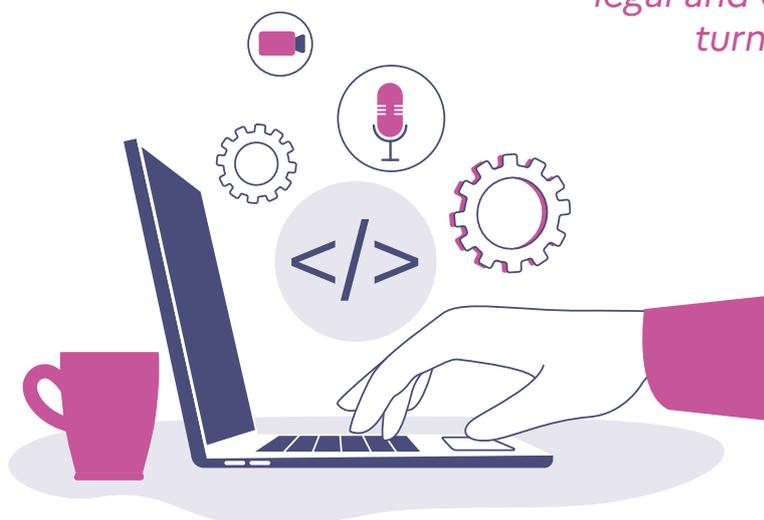


Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Résumé..... | 4 |
| Introduction..... | 5 |
| 1. L'intelligence artificielle (IA) : une diversité de définitions et d'approches..... | 7 |
| 2. Quels enjeux pour les politiques publiques? ... | 14 |
| 3. Quels enjeux juridiques et éthiques? | 26 |
| 4. Quels domaines d'application? | 31 |
| 5. Quelles pistes de travail pour former à l'IA et l'enseigner? | 35 |
| 6. Le tournant des systèmes d'IA générative et des grands modèles de langage | 44 |
| Conclusion : repères et éléments de prospective..... | 62 |

Résumé

Ce document, réalisé par la Direction du numérique pour l'éducation / ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche propose un état des lieux (janvier 2025) sur les apports de la recherche et les lignes directrices des institutions internationales sur l'intelligence artificielle (IA) et l'éducation : diversité des définitions et des approches, enjeux pour les politiques publiques, enjeux juridiques et éthiques, domaines d'application, pistes de travail pour former et enseigner, perspectives avec le tournant actuel des systèmes d'IA générative et des grands modèles de langage.

Abstract

This document, produced by the Digital Directorate for Education (Ministry of National Education, Higher Education and Research), offers an inventory (January 2025) of the contributions of research and the guidelines of international institutions on the artificial intelligence (AI) and education: diversity of definitions and approaches, issues for public policies, legal and ethical issues, fields of application, avenues for training and teaching, perspectives with the turning point of generative AI and large language models.

Resumo

Este documento, producido por el Departamento de Educación Digital (Ministerio de Educación Nacional, Enseñanza Superior e Investigación), ofrece un inventario (Enero de 2025) de las contribuciones de la investigación y las directrices de las instituciones internacionales sobre la inteligencia artificial (IA) y la educación: diversidad de definiciones y enfoques, cuestiones para las políticas públicas, cuestiones jurídicas y éticas, campos de aplicación, vías de formación y enseñanza, perspectivas con el giro actual de las IA generativas y los grandes modelos de lenguaje.

Introduction

**Le réel n'est jamais « ce qu'on pourrait croire »
mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser.**

Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique* (1938)

Nous sommes très heureux de vous présenter l'édition 2025 de la brochure trilingue, « *Intelligence artificielle et éducation : Apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques* » proposée par la Direction du numérique pour l'éducation (DNE) du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MENESR) en France. Avec le développement croissant des technologies d'intelligence artificielle depuis 2022, cette troisième édition s'inscrit encore dans une phase d'accélération, marquée par des changements rapides et parfois imprévisibles qui obligent à accepter de travailler, de proposer et d'avancer dans une « zone grise » de fortes incertitudes. En effet, à l'instar de la révolution du web dans les années 1990-2000, l'IA correspond à une nouvelle révolution industrielle sur une durée courte, où non seulement l'intensité de la vitesse des changements évolue mais parfois aussi la direction de ces changements, comme en témoignent les interrogations récentes et indispensables en matière d'organisation des apprentissages, de conception pédagogique et d'évaluation.

Dans ce contexte, cette édition 2025 met en avant des enjeux décisifs pour les politiques publiques à la lumière des apports récents de la recherche et des questions essentielles d'innovation et d'éducation à explorer pour l'avenir des systèmes éducatifs et des sociétés démocratiques. Au-delà des questions technologiques, l'IA relève déjà et doit davantage encore relever du champ des humanités numériques, qui seul permet un dialogue continu entre lettres, arts et sciences sur les implications systémiques de la transformation numérique des savoirs (production, accès, transmission, diffusion). Un éclairage nécessaire par la recherche donc, dans sa pluralité, avec toujours l'indispensable conscience critique des enjeux, des perspectives et des limites. Ce processus implique d'accepter de travailler dans cette « zone grise » où la difficulté est liée aux incertitudes, aux nombreuses explorations à découvrir, et de faire face aux « obstacles épistémologiques » qui nous imposent de connaître contre nos connaissances antérieures, tels que le précisait Gaston Bachelard, et qui, avec Edgard Morin, nous aident à poursuivre cette quête complexe d'intelligibilité et d'innovation.

Nous remercions chaleureusement les équipes des groupes thématiques numériques (#GTnum) et autres partenaires dans nos actions de veille, de recherche appliquée et d'innovations, notamment Georges-Louis Baron (Université Paris Cité), Colin de la Higuera (Université de Nantes, chaire UNESCO Relia), Vanda Luengo (Sorbonne Université), Pierre-Yves Oudeyer (Inria) et Didier Roy (Inria), Pascal Plantard (Université de Rennes 2) et Margarida Romero (Université Côte d'Azur), pour leurs travaux et contributions aux actions portées par le ministère. Nous saluons respectueusement nos collègues européens d'Irlande, d'Italie, du Luxembourg et de Slovénie et ceux du DELTA group avec qui nous travaillons régulièrement sur l'IA en éducation (notamment sur le projet AI4T).

Cette édition est dédiée tout particulièrement à Anne Boyer pour l'ensemble de son œuvre sur l'IA, ses contributions pionnières et exigeantes en éducation et dont l'engagement et la vision continuent de nous inspirer.

Sachant que toutes les questions ne sont pas traitées dans cette publication, nous nous inscrivons dans les pas de Sisyphe et nous pensons que souvent, à la lecture des articles, de nouvelles questions émergeront et devront être explorées, étudiées et partagées.

Enfin, nous espérons que cette nouvelle édition continuera d'être utile aux acteurs du monde de l'éducation, en les accompagnant dans cette perspective d'une nouvelle agentivité*, à l'heure où l'accélération technologique en matière d'IA doit renforcer encore la nécessité d'une réflexion critique et d'une action éclairée par les regards croisés des chercheurs et des praticiens que sont les professeurs, les formateurs, les chefs d'établissement et les inspecteurs, pour toujours rester dans un cadre d'usage de services numériques d'IA au service des humains.

Elie Allouche et Axel Jean,

Bureau du soutien à l'innovation numérique et à la recherche appliquée et l'équipe DNE-TN2 CREIA et P2IA
DNE – MENESR - France, janvier 2025

* Source : « Capacité de l'être humain à agir de façon intentionnelle sur lui-même, sur les autres et sur son environnement. »
D'après Jézégou, A. (2022). Agentivité. In *Dictionnaire des concepts de la professionnalisation* (Vol. 2, p. 41-44). De Boeck Supérieur.
<https://doi.org/10.3917/dbu.jorro.2022.01.0041>

À retenir

10 repères sur l'IA et l'éducation

<https://edunumrech.hypotheses.org/12695>



01. Définition

Intelligence artificielle : domaine de recherche qui étudie [depuis les années 1950] les mécanismes de l'intelligence en les modélisant avec des algorithmes et en les expérimentant avec des machines (Inria, 2020).



02. Applications

Systèmes d'apprentissage adaptatif, agents conversationnels, tutorat, détection et remédiation aux difficultés d'apprentissage, traitement et production de connaissances, usages administratifs.



03. Dimensions juridiques et éthiques

Respect du cadre de l'IA Act et du RGPD. Points de vigilance : contrôle humain, identification et correction des biais, équité, inclusion, respect de la dignité des individus, justification des choix, transparence et explicabilité.



04. Littératie

Littératie de l'IA : compréhension et capacité d'interagir efficacement avec l'IA : savoir-faire technique, implications éthiques et sociétales (Zhang *et al.*, 2023).



05. IA générative

Technologies entraînées sur des données massives et générant de nouveaux contenus (texte, image, audio, vidéo) de façon aléatoire à partir d'une instruction/ prompt (Gozalo-Brizuela & Garrido-Merchan, 2023).



06. Agents conversationnels type ChatGPT

Agent conversationnel ouvert au public en novembre 2022 (prédiction de mots par l'architecture de réseaux de neurones « Transformer », 2017). Performances proches des interactions humaines.



07. Explorer et expérimenter

Explication des principes de fonctionnement de l'IA, des enjeux et pistes d'application aux élèves, éducation à l'esprit critique, vigilance sur la protection des données à caractère personnel/respect du RGPD.



08. Instruction prompt

Qualité de la réponse fortement tributaire de celle de l'instruction. Pour rédiger une instruction, préciser notamment : contexte, niveau, besoin, objectifs, contraintes, public, style, format, mots-clés, exemples.



09. Ingénierie pédagogique

Potentiels de l'IA générative pour la conception de séquences d'apprentissage : explicitation, démarche réflexive, mise à distance, problématisation. Apports de l'IA : structuration, réflexion, créativité.



10. Prospective.

Nécessité de formation, impacts sur les enseignements et apprentissages, les compétences et métiers, la production et la diffusion des informations et des savoirs, l'expérience utilisateur et les environnements de travail. Émergence des agents IA autonomes.

(Allouche, 2024)

1. L'intelligence artificielle (IA) : une diversité de définitions et d'approches

1.1 Origines et actes fondateurs

En remontant à ses origines, en tant que **nouvelle science**, l'IA « reposait sur la conjecture selon laquelle toutes les **facultés cognitives**, en particulier le raisonnement, le calcul, la perception, la mémorisation, voire la découverte scientifique ou la créativité artistique, pourraient être décrites avec une précision telle qu'il devrait être **possible de les reproduire à l'aide d'un ordinateur**. » D'après (Ganascia, 2022)

« Outre un article majeur sur la morphogénèse en 1952, [les] deux papiers les plus fameux [de Turing] dans le monde de l'informatique sont "On Computable Numbers, With an Application to the Entscheidungsproblem" en 1937, où il pose les bases de la **machine de Turing** et de la calculabilité, et "Computing Machinery and Intelligence" en 1950, où il pose la **question de l'intelligence pour les machines** et énonce le **test de Turing**. » (Le Blanc, 2014)

« Une définition classique précise que l'IA est un **domaine de recherche** qui développe des technologies capables de faire des choses qui exigeraient de l'intelligence si elles étaient faites par des humains (Minsky, 1969). Cette approche trouve son origine chez **Turing**, ayant proposé que si une **simulation d'être humain intelligent** ne peut être distinguée d'une personne réelle, les questions relatives à l'intelligence deviennent sans objet (Turing, 1950). De nombreux spécialistes des sciences cognitives et certains chercheurs et philosophes spécialisés dans l'IA ont adopté un point de vue plus ferme, affirmant que la recherche sur l'IA peut révéler comment fonctionne l'esprit humain (Gardner, 1985). » (Holmes et al., 2022) traduction par (Bocquet, 2023)

« S'il faut un début à l'histoire, commençons par la **conférence de Dartmouth** où surgit le terme désormais consacré d'"intelligence artificielle". Elle est organisée durant l'été **1956** au Dartmouth College, près de Hanover (New Hampshire), par **Marvin Minsky et John McCarthy**, les deux pionniers. » (Le Cun et al., 2019)

« De façon surprenante, le terme récemment retenu pour qualifier ces stupéfiantes prouesses calculatoires est celui d'intelligence artificielle (IA). Le retour sur le devant de la scène de ce **vocabulaire forgé en 1956 par John McCarthy** constitue une intéressante énigme pour l'histoire des sciences et des techniques. La plupart des observateurs rigoureux soulignent en effet que c'est dans le seul domaine des méthodes d'apprentissage et, notamment, de l'apprentissage profond (*deep learning*), que des progrès sensibles de la prédiction calculée ont lieu actuellement. Or l'appartenance de ces techniques au champ de l'IA n'est pas toujours allée de soi. (...)

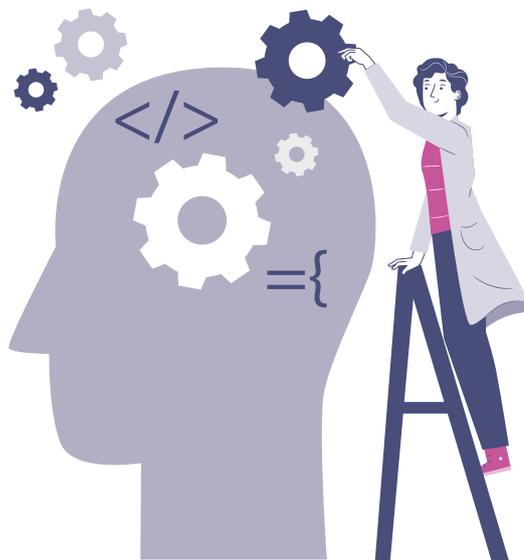
Les **réseaux de neurones** trouvent leur origine dans l'histoire pionnière de l'informatique et de la première cybernétique. Bien que l'étiquette soit postérieure, celle-ci peut en effet être dite "connexionniste" et ne cessera de se référer à la proposition de modéliser mathématiquement un réseau de neurones faite par le neurophysiologiste **Warren McCulloch** et le logicien **Walter Pitts en 1943**. Cet article fondateur continue, jusque dans les citations actuelles des articles de *deep learning*, à être donné comme le point de départ de l'aventure connexionniste. » (Cardon et al., 2018)

Quelques étapes dans l'histoire de l'IA

| | |
|-----------|---|
| 1943 | Article sur les neurones artificiels de McCulloch et Pitts. |
| 1950 | Article de Turing « <i>Computing Machinery and Intelligence</i> » à la base de l'apprentissage des machines et du test de Turing. |
| 1956 | Le terme «intelligence artificielle» est utilisé pour la première fois lors d'une conférence à Dartmouth College . |
| 1957 | Invention du Perceptron (premier modèle d'apprentissage automatique fondé sur un réseau de neurones artificiels) par Frank Rosenblatt . |
| 1958 | John McCarthy invente le langage de programmation LISP. |
| 1964-1966 | Le programme Eliza , un des premiers chatbots , est développé par Joseph Weizenbaum. Il donne naissance à «l'effet Eliza» (tendance à attribuer involontairement des traits humains à des suites de symboles générées par un ordinateur). |
| 1972-1981 | Le système expert MYCIN est développé pour aider les médecins à diagnostiquer les maladies infectieuses. |
| 1974 | Paul Werbos développe le premier algorithme de rétropropagation, une méthode clé pour le <i>deep learning</i> / apprentissage profond . |
| 1997 | Deep Blue , l'ordinateur d'échecs développé par IBM, bat le champion du monde d'échecs, Garry Kasparov. |
| 2011 | Le système Watson d'IBM remporte le jeu télévisé Jeopardy! contre deux anciens champions humains. |
| 2012 | Le réseau de neurones convolutifs AlexNet remporte le concours ImageNet, ce qui marque le début de l'ère du <i>deep learning</i> . |
| 2016 | AlphaGo , un programme d'IA développé par Google DeepMind, bat le champion du monde de Go Lee Sedol. Google développe son assistant vocal. |
| 2017 | Article sur les Transformers de (Vaswani et al.) [Google Research]. |
| 2018 | Google développe son modèle de langage BERT , améliorant les performances en traitement automatique du langage naturel. |
| 2019 | Une IA conçue par la start-up française Nukkai bat des champions du monde de bridge (jeu de carte le plus complexe). |
| 2022 | Ouverture au public de ChatGPT par OpenAI. |
| 2023 | Développement rapide des systèmes d'IA générative et des grands modèles multimodaux (texte, image, son, vidéo). |
| 2024 | Prix Nobel de physique attribué à John Hopfield et Geoffrey Hinton et prix Nobel de chimie attribué à Demis Hassabis et John Jumper pour leurs travaux sur l'IA. |

1.2 Choix humains, modélisation et automatisatisation de tâches cognitives

«L'expression "intelligence artificielle", créée dans les années 1950, désigne le **domaine de recherche qui étudie les mécanismes de l'intelligence** en les modélisant avec des algorithmes et en les expérimentant avec des machines. Ces mécanismes incluent par exemple la faculté de trouver automatiquement des solutions à des problèmes, qui peut mettre en œuvre des capacités de planification, de prédiction, de contrôle, de mémorisation ou d'apprentissage. Par extension, le terme "intelligence artificielle" est souvent utilisé pour désigner des **algorithmes** [enchaînements d'actions élémentaires pour résoudre un problème] **simulant ou ayant des points communs avec certaines des capacités d'intelligence des êtres vivants.**» (Inria & Class'Code, 2020)



L'IA désigne « un **système automatisé** qui, pour un ensemble donné d'objectifs définis par l'humain, est **en mesure d'établir des prévisions, de formuler des recommandations, ou de prendre des décisions** influant sur des environnements réels ou virtuels. Les systèmes d'IA interagissent avec nous et influent de façon directe ou indirecte sur notre environnement. Ils semblent souvent fonctionner de façon autonome et peuvent adapter leur comportement en fonction du contexte. » D'après (UNICEF, 2021) repris par (Holmes & Tuomi, 2022) traduction par (Bocquet, 2023)

C'est aussi « un **domaine interdisciplinaire à la fois théorique et pratique** qui allie les technologies numériques, mathématiques, statistiques et algorithmiques. » (*Grand lexique français de l'Intelligence artificielle*, 2021)

« Depuis les années 1950, l'IA est un domaine de recherche foisonnant mélangeant mathématiques appliquées et psychologie. Les techniques ont évolué, plusieurs définitions ont été proposées, mais l'idée de **repousser les limites des actions humaines pouvant être automatisées** demeure centrale. On parlera tantôt de prise de décisions, tantôt d'aide à la décision, mais il demeure que **l'IA affiche l'ambition de modéliser certaines facultés mentales de l'être humain**. De nos jours, avec la multiplication des ensembles de données massives, le raffinement des méthodes d'analyse et la visibilité de certains projets qui stimulent l'imaginaire collectif comme les voitures autonomes, les applications potentielles de l'IA dans différents domaines de connaissances connaissent un essor important. » (Romero et al., 2023)

1.3 Les types d'IA

On distingue plusieurs types d'IA :

Selon leur technologie

« Une **IA basée sur les données**, ou apprentissage automatique (*machine learning* en anglais) et une autre IA basée sur les connaissances ou **IA symbolique**.

Un troisième modèle conceptuel, l'**IA hybride**, combine les approches basées sur les données et les connaissances avec la cognition humaine. »

D'après (Holmes et al., 2022) traduction par (Bocquet, 2023)

Selon leur portée

« On distingue l'**IA faible** de l'**IA forte** selon la portée d'application de ces programmes informatiques.

L'intelligence artificielle faible (*weak AI*) est une intelligence artificielle qui se concentre sur une tâche précise alors que l'IA forte (*strong AI*) ou l'intelligence artificielle générale (*AGI : artificial general intelligence*) s'applique à tout problème. Tous les systèmes d'IA existants sont considérés actuellement comme des intelligences artificielles faibles. » (*Grand lexique français de l'Intelligence artificielle*, 2021)

« Intelligence artificielle complète ou forte :

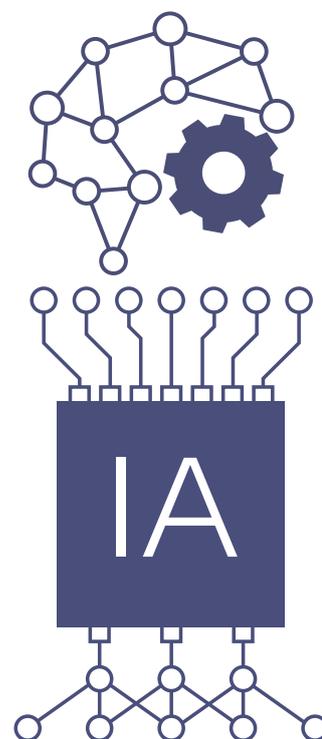
une intelligence artificielle qui serait capable de copier les aptitudes humaines (apprendre, comprendre, appréhender, raisonner, prendre des décisions, avoir une conscience, des émotions...).

À ce jour, l'intelligence artificielle forte n'existe pas, c'est une croyance.

Intelligence artificielle faible : c'est l'intelligence artificielle qu'on connaît aujourd'hui : c'est un algorithme "apprenant", en adaptant ses paramètres à des données d'apprentissage, non pourvu de capacités mentales et cognitives, mais capable d'effectuer avec beaucoup plus d'efficacité, parfois plus que l'être humain, une tâche précise. » (Inria & Class'Code, 2020)

IA classique et apprentissage automatique

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



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

Il existe **trois approches principales de l'AA :**

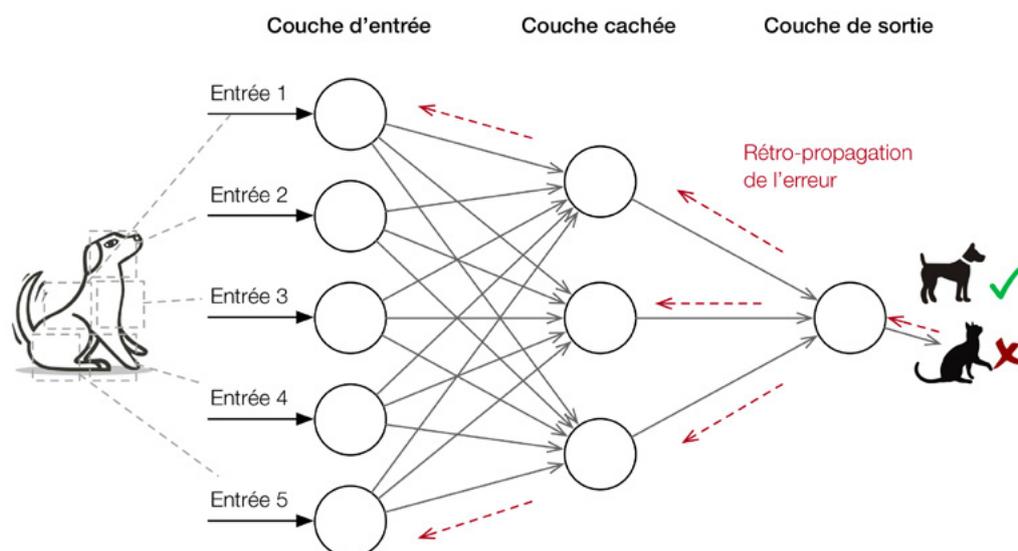
- **supervisée;**
 - **non supervisée;**
 - **par renforcement.**
- **L'apprentissage supervisé** implique que les données ont déjà été identifiées et décrites, par exemple des milliers de photographies de personnes préalablement "étiquetées" par des humains. L'apprentissage supervisé relie les données aux étiquettes, afin de construire un modèle qui peut être appliqué à des données similaires, par exemple pour identifier automatiquement des personnes sur de nouvelles photographies. Dans l'apprentissage non supervisé, l'IA dispose d'une quantité de données encore plus importante, mais les données n'ont alors pas été préalablement identifiées, catégorisées ou étiquetées.
- **L'apprentissage non supervisé** vise à découvrir des similitudes, des modèles cachés dans les données, les ensembles de données qui peuvent être utilisés pour classer de nouvelles données. Par exemple, il devient possible d'identifier automatiquement les lettres et les chiffres d'une écriture manuscrite en recherchant des modèles dans des milliers d'exemples disponibles. Dans l'apprentissage supervisé comme dans l'apprentissage non supervisé, le modèle obtenu à partir des données est fixe, et si les données changent, il est nécessaire de reprendre l'analyse.
- À l'inverse, la troisième approche de l'AA, à savoir **l'apprentissage par renforcement**, implique l'amélioration continue du modèle sur la base du retour d'information (en anglais *feedback*) – en d'autres termes, il s'agit d'un apprentissage automatique dans le sens où l'apprentissage est continu. L'IA reçoit des données initiales à partir desquelles elle élabore un modèle, qui est évalué comme correct ou incorrect et, selon le résultat, "récompensé" ou "éliminé", autrement dit gardé ou rejeté. (...)

Un **réseau neuronal artificiel, ou réseau de neurones artificiel (RNA)**, est une approche de l'IA qui s'inspire de la structure des réseaux neuronaux biologiques – le cerveau des animaux. Les RNA comprennent chacun trois types de couches interconnectées de neurones artificiels : une couche d'entrée, une ou plusieurs couches de calcul intermédiaires cachées, enfin une couche de sortie qui fournit le résultat. (...)

L'apprentissage profond [deep learning] fait référence aux RNA qui comprennent plusieurs couches intermédiaires. C'est cette approche qui est à l'origine de nombreuses applications de l'IA récentes et prometteuses (par exemple dans le traitement du langage naturel, la reconnaissance vocale, la vision par ordinateur, la création d'images, la découverte de médicaments ou la génomique).»

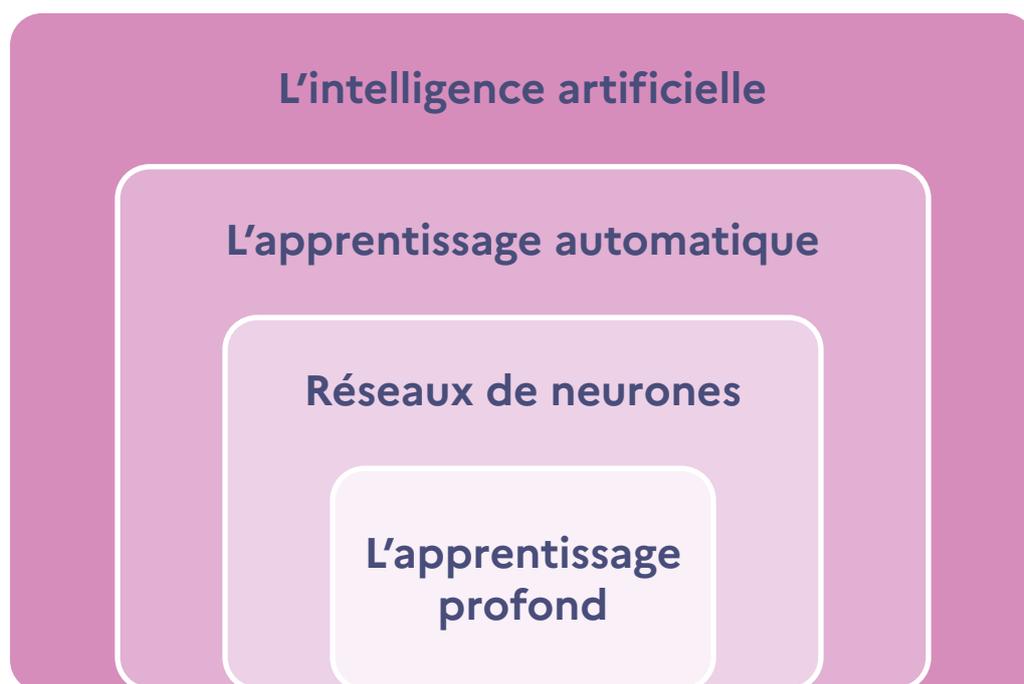
(UNESCO, 2021)

Fonctionnement d'un réseau de neurones simple



(Cardon et al., 2018) En lien avec les travaux des prix Nobel de physique 2024.

IA, apprentissage automatique, réseau de neurones et apprentissage profond



(UNESCO, 2021)

Le futur de l'IA selon Yann LeCun

Selon Yann LeCun, **l'intelligence humaine a quatre caractéristiques** :

- la compréhension du monde physique;
- la mémoire persistante (se rappeler et retrouver des choses);
- le raisonnement;
- la planification.

Ainsi, même si nous pouvons être impressionnés par le volume des données traitées par les LLM, nous apprenons et traitons plus de données par nos perceptions sensorielles, nos observations et interactions avec le monde réel, que par le langage. Les apprentissages réalisés dans les premières années d'existence d'un humain, et dans la vie de la plupart des animaux, n'ont rien à voir avec le langage. Il évoque le « **paradoxe de Moravec** » selon lequel ce qui est le plus facile pour l'humain est souvent ce qui est le plus difficile pour la machine, et inversement.

Pour tendre vers une IA forte il est donc nécessaire que les technologies d'IA intègrent et simulent une compréhension du monde physique. Un « **modèle du monde** » intégré à une IA permettrait :

«(1) [d']estimer les informations manquantes sur l'état du monde non fournies par la perception, et (2) [de] prédire les états futurs plausibles du monde. Le modèle du monde peut prédire les évolutions naturelles du monde ou prédire les états futurs du monde résultant d'une séquence d'actions proposées par le module acteur.»

D'après (LeCun, 2022, LeCun et al., 2022 et Lex Fridman, 2024)

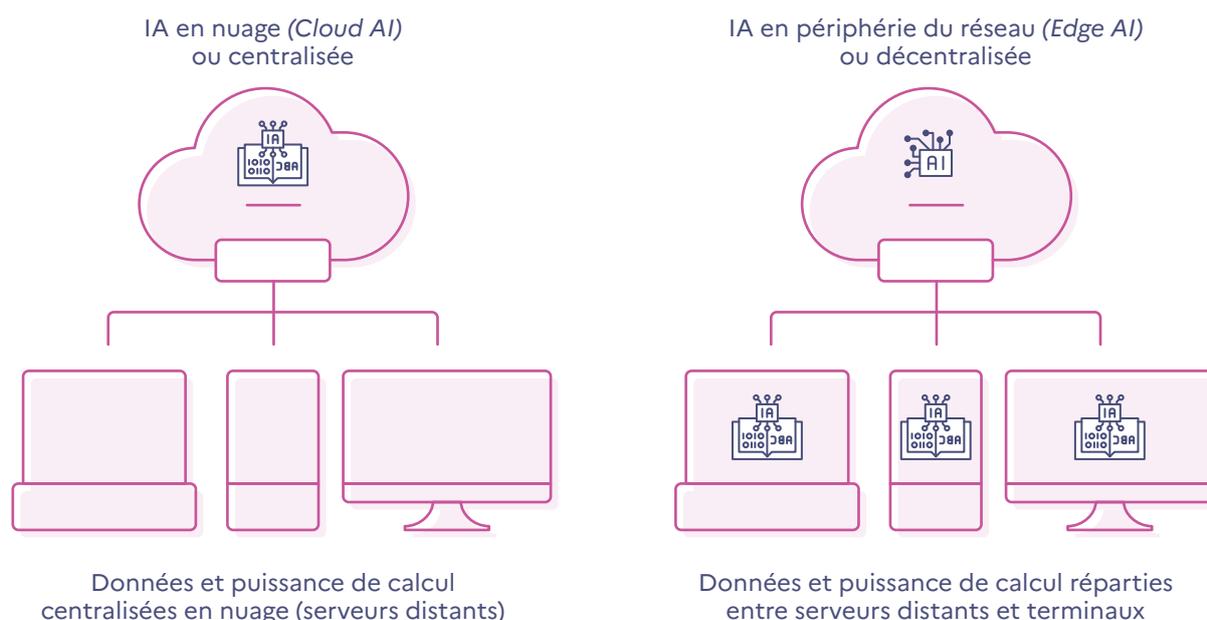
Qu'est-ce que l'IA en périphérie du réseau (Edge AI)?

«L'IA à la pointe de la technologie consiste à utiliser l'IA dans des appareils du monde réel. *Edge AI* fait référence à la pratique consistant à effectuer des calculs d'IA à proximité des utilisateurs en périphérie du réseau au lieu d'un emplacement centralisé comme le centre de données d'un fournisseur de services cloud ou le propre entrepôt de données privé d'une entreprise.»

(Singh & Gill, 2023)

Ces travaux font partie des éléments travaillés dans le cadre de la stratégie nationale IA.

IA en périphérie du réseau (Edge AI)



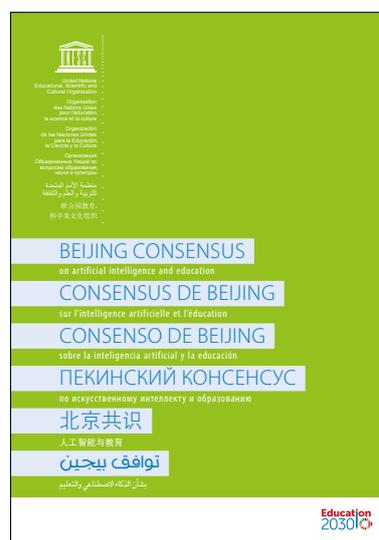
2. Quels enjeux pour les politiques publiques ?

2.1 Le consensus de Beijing

« Le Consensus de Beijing recommande aux gouvernements et aux autres parties prenantes des États membres de l'UNESCO de :

- **planifier l'IA dans les politiques de l'éducation** (...) pour atteindre les objectifs de l'ODD 4 [Objectif de développement durable 4 : 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];
- **soutenir le développement de nouveaux modèles;**
- **envisager l'utilisation de données pertinentes**, le cas échéant, afin d'encourager la planification de politiques fondées sur des données probantes;
- veiller à ce que les technologies d'IA servent à **autonomiser les enseignants au lieu de les remplacer;**
- préparer la prochaine génération de travailleurs en **l'équipant des valeurs et des compétences nécessaires pour la vie et au travail**, les plus pertinentes à l'ère de l'IA;
- promouvoir une **utilisation équitable et inclusive** de l'IA ».

(D'après UNESCO, 2019)

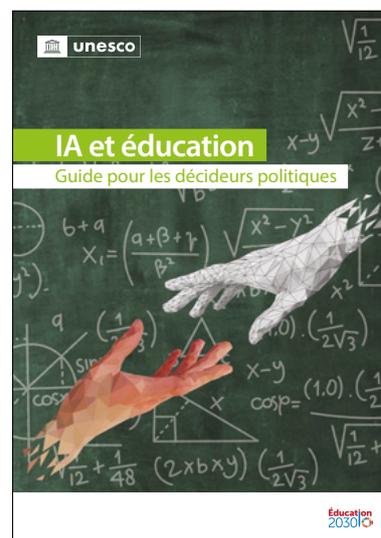


2.2 Les recommandations et prévisions de l'UNESCO et de l'OCDE

Recommandations pour les décideurs politiques

1. Une vision et des priorités stratégiques à l'échelle systémique

- Définir à l'échelle du système une vision des politiques de l'IA et de l'éducation :
 - garantir l'utilisation inclusive et équitable de l'IA dans l'éducation ;
 - tirer au mieux parti de l'IA pour améliorer l'éducation et l'apprentissage ;
 - promouvoir le développement de compétences nécessaires à la vie à l'ère de l'IA, notamment en enseignant le fonctionnement de l'IA et ses implications pour l'humanité ;
 - garantir l'utilisation transparente et contrôlable des données relatives à l'éducation.
- Évaluer l'état de préparation de l'ensemble du système et choisir les priorités stratégiques.



2. Principe directeur en matière de politiques d'IA et d'éducation

- Adopter une approche humaniste comme principe général des politiques de l'IA et de l'éducation.

3. Planification interdisciplinaire et gouvernance intersectorielle

- Mobiliser l'expertise interdisciplinaire et multipartite pour éclairer la planification des politiques et renforcer la capacité des décideurs.
- Mettre en place des mécanismes de gouvernance et de coordination intersectoriels.

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

- Définir des objectifs stratégiques transversaux et planifier des règlements et des programmes, afin de garantir l'utilisation équitable et inclusive de l'IA dans le champ éducatif.

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

- L'utilisation de l'IA pour stimuler et améliorer la gestion de l'éducation et les prestations.
- Cultiver une utilisation de l'IA centrée sur l'apprenant pour améliorer l'apprentissage et l'évaluation.
- Veiller à ce que l'IA soit utilisée pour renforcer les dynamiques des enseignants.
- Planifier l'utilisation de l'IA pour soutenir l'apprentissage tout au long de la vie, quels que soient l'âge, le lieu et le contexte.
- Développer des valeurs et des compétences pour la vie et le travail à l'ère de l'IA.

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

- Construire une base de données fiable pour soutenir l'utilisation de l'IA dans l'éducation.
- Renforcer la recherche et l'évaluation dans le domaine de l'IA et de l'éducation.

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

— Promouvoir le développement local des technologies de l'information dans le champ éducatif.

D'après (UNESCO, 2021) (Extraits)

IA et inclusion scolaire

« Les outils institutionnels alimentés par l'IA offrent des **possibilités prometteuses pour améliorer l'équité et l'inclusion dans les systèmes éducatifs**. Par exemple pour l'admission dans l'enseignement supérieur, en utilisant des algorithmes et des analyses de données pour **rationaliser le processus d'admission**, réduisant potentiellement les préjugés et améliorant l'équité dans la sélection des candidats. De même, les outils d'IA conçus pour **identifier les élèves qui risquent de quitter l'école [décrochage scolaire]** peuvent fournir des informations cruciales, ce qui permet d'intervenir à temps dans les écoles. En outre, l'IA peut **faciliter la prise de décision fondée sur des données**, permettant une distribution plus efficace et plus ciblée des ressources dans les domaines où les besoins sont les plus importants. »

[Traduction] (OCDE et al., 2024)

Les nouveaux enjeux de l'IA générative

« Les implications de l'IA générative pour l'évaluation vont bien au-delà des préoccupations immédiates concernant la tricherie des apprenants sur les devoirs écrits. Nous devons composer avec le fait que **l'IA générative peut produire des articles et des essais relativement bien organisés et des œuvres d'art impressionnantes**, et peut réussir certains examens basés sur les connaissances dans certains domaines. Nous devons donc repenser ce qui doit être exactement appris et à quelles fins, ainsi que la manière dont l'apprentissage doit être évalué et validé. (...) »

La perspective la plus fondamentale des implications à long terme de l'IA générative pour l'éducation et la recherche concerne toujours **la relation complémentaire entre l'action humaine et les machines**. L'une des questions clés est de savoir si les humains peuvent éventuellement céder des niveaux fondamentaux de réflexion et de processus d'acquisition de compétences à l'IA et plutôt se concentrer sur des capacités de réflexion d'ordre supérieur basées sur les résultats fournis par l'IA. L'émergence de divers chatbots d'IA générative rend indispensable, dans chaque pays, un examen attentif – et un débat public – pour déterminer la juste limite d'âge pour les échanges conduits de manière autonome avec les plateformes de la *GenAI*. **Le seuil minimum devrait être fixé à 13 ans**. Les États devront également décider si l'autodéclaration de l'âge reste un moyen de vérification approprié. »

(Miao & Holmes, 2023)

« Les modèles d'IA générative qui génèrent du texte, des images, des vidéos et du contenu audio (musique, parole, etc.) progressent à une vitesse fulgurante. Cela ouvre des **possibilités infinies, démontrées dans un nombre croissant de domaines**. Cependant, la technologie pose également de nombreux défis et risques pour les individus, les entreprises, les économies, les sociétés et les décideurs politiques du monde entier, allant **de la perturbation du marché du travail et de la désinformation** à court terme aux défis potentiels à long terme en matière de contrôle des actions des machines. Les trajectoires futures de l'IA générative sont difficiles à prédire, mais les gouvernements doivent les explorer pour pouvoir les façonner. »

(Lorenz et al., 2023)

2.3 Une stratégie nationale

« À la suite du rapport Villani *“Donner un sens à l’intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne”* (2018) et dans le cadre du plan France 2030, le Gouvernement a lancé en 2018 une **stratégie nationale pour l’intelligence artificielle (SNIA)**. Cette stratégie a pour objectif de positionner la France comme un des leaders européens et mondiaux de l’intelligence artificielle (IA).

La stratégie nationale pour l’intelligence artificielle a pour ambition de préserver et consolider la souveraineté économique, technologique et politique de la France et de mettre l’IA au service de l’économie et de la société. Elle est rattachée au volet maîtrise de technologies numériques souveraines et sûres de France 2030. »

(Gouvernement – Direction générale des Entreprises, 2023)

« Le plan France 2030 »

Les P2IA

« Les partenariats d’innovation en IA (P2IA) permettent la mise au point de **services numériques pédagogiques innovants intégrant l’IA pour l’apprentissage des fondamentaux de maths et de français, ainsi que pour les langues**. Le P2IA pour le cycle 2 (CP-CE1-CE2) est déployé, celui pour le cycle 3 (CM1-CM2-6^e) est en cours, celui pour le cycle 4 (5^e-4^e-3^e) à venir. Un prochain P2IA sera enfin consacré à des outils intégrant l’IA générative pour soutenir les enseignants dans leurs gestes quotidiens (préparation de cours, évaluation, correction...). »

L’appel à projets « Communs numériques pour l’IA générative »

« Afin d’encourager le développement de l’IA générative dans l’économie française et de maîtriser l’ensemble de la chaîne de valeur de cette technologie, France 2030 a lancé en 2023 l’appel à projets *“Communs numériques pour l’IA générative”*. Ce dispositif associé à la Stratégie nationale pour l’IA vise à la mise au point et en accessibilité des briques technologiques fondamentales de l’IA générative : bases de données massives valorisant le patrimoine national, modèles *“de fondation”*, systèmes de déploiement, d’évaluation et de contrôle des modèles d’IA générative. »

Les pôles d'excellence en formation sur l'IA



(Gouvernement français, 2024)

« Les recommandations de la commission de intelligence artificielle »

1. Créer les conditions d'une appropriation collective de l'IA et de ses enjeux en lançant un **plan de sensibilisation et de formation** de la nation.
2. Investir massivement dans les **entreprises du numérique** et la transformation des entreprises pour soutenir **l'écosystème français de l'IA** et en faire l'un des premiers mondiaux.
3. Faire de la France et de l'Europe un **pôle majeur de la puissance de calcul**, à court comme à moyen terme.
4. Transformer notre **approche de la donnée personnelle pour continuer à protéger** tout en facilitant l'innovation au service de nos besoins.

5. Assurer le **rayonnement de la culture française** en permettant l'accès aux contenus culturels dans le **respect des droits de propriété intellectuelle**.
6. Assumer le principe d'une **expérimentation** dans la **recherche publique en IA** pour en renforcer l'attractivité.
7. Structurer une **initiative diplomatique** cohérente et concrète visant la fondation d'une **gouvernance mondiale de l'IA**. »

(Commission de l'intelligence artificielle, 2024)



2.4 Actions et productions des groupes thématiques numériques (#GTnum)

La Direction du numérique pour l'éducation met en œuvre et soutient des **collectifs de recherche**, les groupes thématiques numériques, associant chercheurs et praticiens de l'éducation, qui contribuent à la production de **connaissances en accès ouvert** sur le numérique en éducation. Chaque GTnum est porté pendant trois ans par des laboratoires de recherche en partenariat avec des territoires académiques.

Programmes de travail des GTnum sur l'IA générative

— IA générative et grands modèles de langage en éducation : GTnum #GenIAL



« La démarche se situe sur trois plans : **le contexte éducatif** au niveau des actions pédagogiques mais aussi des normes et formes éducatives, **le contrat éducatif** qui s'élabore dans un cadre relationnel et normatif entre les personnels éducatifs et les apprenants, et enfin les **dispositifs et processus** qui régissent l'activité dans l'école. Nos objectifs sont ainsi de pouvoir **évaluer le potentiel transformant de ces IA génératives et grands modèles de langage au sein de l'école, et plus largement de l'enseignement.** »

— IA génératives et établissements scolaires du Grand-Est : GNum #IA2GE

« Le groupe thématique que nous avons constitué a pour but d'**étudier les usages (et les non-usages) des enseignants et des élèves de la région Grand-Est du primaire et du secondaire** en regard des apports des connaissances scientifiques actuelles sur les phénomènes pédagogiques, didactiques, d'apprentissage et d'éducation. Notre objectif est d'**identifier des obstacles, des conflits et des leviers** dans le contexte des usages des IA génératives pour produire des ressources pratiques relevant des ingénieries pédagogique, didactique et de formation mais aussi de la **démarche prospective** de développement d'outils futurs en vue d'accompagner les enseignants. »

| | |
|--|--------------------|
| Laboratoire | interuniversitaire |
| des sciences de l'éducation | |
| et de la communication LISEC EA 2310 | |
| Université de Strasbourg | |



(DNE-TN2, 2024a, 2024b)

Quels sont les pays qui ont intégré l'IA à leurs programmes scolaires ?



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

Source : (UNESCO, 2023)

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 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Jordanie | 2. Digital Skills | Centre national pour le développement des programmes scolaires | ✓ | ✓ | |
| Bulgarie | 3. Computer Modelling, Information Technology and Informatics | Groupes d'experts (universitaires, enseignants, experts en éducation) | ✓ | ✓ | ✓ |
| Arabie saoudite | 4. Digital Skills | Logique binaire et Tatweer Co. | ✓ | ✓ | ✓ |
| Serbie | 5. Technique and Technology | Groupe de travail du ministère de l'Éducation | ✓ | | |
| | 6. AI in gymnasiums | Groupe de travail du ministère de l'Éducation | | ✓ | |
| | 7. AI in all high schools | Groupe de travail du ministère de l'Éducation | | ✓ | |

(UNESCO, 2023)

2.5 Innovation et IA, une urgence pour l'Europe : le rapport Draghi



« Alors que le monde est à **l'aube d'une nouvelle révolution numérique**, déclenchée par la diffusion de l'intelligence artificielle (IA), une fenêtre s'est ouverte pour que l'Europe remédie à ses lacunes en matière d'innovation et de productivité et restaure son potentiel de production. (...) L'IA – et en particulier l'IA générative – est une technologie en évolution dans laquelle les entreprises de l'UE ont encore la possibilité de se forger une position de leader dans certains segments. L'Europe occupe une position forte dans le domaine de la robotique autonome, avec environ 22% de l'activité mondiale, et dans celui des services d'IA, avec environ 17% de l'activité. Cependant, les entreprises numériques innovantes ne parviennent généralement pas à se développer en Europe et à attirer des financements, ce qui se traduit par un **écart considérable entre l'UE**

et les États-Unis en matière de financement à un stade ultérieur. En fait, aucune entreprise de l'UE ayant une capitalisation boursière supérieure à 100 milliards d'euros n'a été créée à partir de rien au cours des cinquante dernières années, alors qu'aux États-Unis, les six entreprises ayant une valorisation supérieure à 1 000 milliards d'euros ont été créées au cours de cette période. (...)

Bien que la technologie soit essentielle pour protéger le modèle social européen, l'IA pourrait également compromettre si l'on ne met pas l'accent sur les compétences. Contrairement aux vagues d'informatisation précédentes, **les emplois des travailleurs les plus qualifiés risquent d'être plus exposés.** Fournir aux travailleurs les compétences et la formation adéquates pour utiliser l'IA peut néanmoins contribuer à rendre les avantages de l'IA plus inclusifs. Une étude récente a montré que l'accès à l'assistance de l'IA augmentait la productivité de tous les travailleurs, mais que c'est le personnel moins expérimenté ou peu qualifié qui en bénéficiait le plus. Si l'Europe doit s'efforcer d'égaliser les États-Unis en termes de potentiel d'innovation, elle doit viser à les dépasser **en offrant des possibilités d'éducation et d'apprentissage tout au long de la vie**, afin que les avantages de l'IA soient largement partagés et que tout impact négatif sur l'inclusion sociale soit réduit au minimum.»

(Draghi, 2024)

2.6 IA et impact environnemental

«Chaque fois que nous interrogeons un modèle d'IA, que ce soit via notre téléphone, une interface de chat ou une enceinte connectée, cette requête doit passer par du **matériel physique** pour nous fournir une réponse. À mesure que les modèles d'IA deviennent plus volumineux et plus complexes, ils nécessitent également un matériel plus puissant pour les exécuter. L'un des composants matériels courants des systèmes d'IA est le GPU (**unité de traitement graphique**), et un modèle d'IA individuel peut nécessiter plusieurs GPU. Ces GPU se trouvent souvent sur des serveurs au sein de centres de données situés dans différentes régions du monde et connectés via le Web. En moyenne, 40 à 50% de l'énergie utilisée par un centre de données est utilisée pour alimenter l'équipement informatique, avec 30 à 40% supplémentaires consacrés au **refroidissement de l'équipement**. L'énergie est également utilisée pour la **fabrication du matériel** (par exemple, les GPU), ainsi que d'autres éléments de l'infrastructure du centre de données (par exemple, le stockage, la mise en réseau, etc.) – bien que la quantité exacte utilisée par des entreprises telles que Nvidia, qui détiennent des parts de marché considérables dans la conception de GPU, reste inconnue.

Il existe actuellement **peu de transparence sur les besoins énergétiques des applications d'IA spécifiques**, bien qu'une estimation récente ait estimé que **la quantité d'énergie utilisée pour une requête ChatGPT serait entre 6 et 10 fois supérieure à celle d'une recherche Web traditionnelle** (0,3 Wh contre 2,9 Wh). Au niveau macro, on estime que l'IA utilise aujourd'hui 10 à 20% de l'électricité des centres de données, mais comme les nouvelles générations de serveurs dotés d'IA consomment plus d'énergie, ce pourcentage devrait augmenter en moyenne de 70% dans les années à venir et doubler d'ici 2030.»

(Luccioni et al., 2024)

« **L'IA décuple les risques mais aussi les opportunités du numérique pour l'environnement.** Dans le large domaine du numérique, l'intelligence artificielle (IA) occupe une place spécifique, particulièrement l'IA dite "généraliste", capable de générer de nouveaux contenus (textes, audios, photos, vidéos, etc.) à partir de données.

En termes d'opportunités, **l'IA peut directement contribuer à réduire l'empreinte environnementale par des systèmes créés spécifiquement pour leur utilité écologique.**

Par exemple, l'IA contribue à la mesure et à la gestion de la qualité de l'air, en prévoyant plusieurs heures à l'avance la concentration de particules fines à tel ou tel endroit et en conseillant d'adapter en conséquence les déplacements. L'IA peut aussi indirectement contribuer à réduire l'empreinte environnementale par une amélioration de l'efficacité énergétique de l'ensemble des activités. Cette optimisation de l'usage des ressources prend des formes multiples dans de nombreux secteurs : pilotage des flux de circulation routière, chauffage des bâtiments, gestion des déchets, etc.

Mais, d'un autre côté, la consommation d'électricité, de métaux rares, d'eau et d'espaces artificialisés imputable aux IA est en nette croissance, même si elle reste marginale par rapport à la consommation totale. L'IA aggrave donc l'empreinte environnementale du numérique, à la fois dans ses trois briques matérielles (les terminaux, les réseaux, les centres de données) et dans toutes les étapes du cycle de vie (fabrication, distribution, utilisation et fin de vie). »

(Tatot & Vermot Desroches, 2024)



3. Quels enjeux juridiques et éthiques ?

3.1 IA et protection des données à caractère personnel

Les premières recommandations de la CNIL :
Pour un usage de l'IA respectueux des données personnelles

« Ces recommandations de la CNIL servent à **accompagner les acteurs de l'écosystème IA dans leurs démarches de mise en conformité avec la législation sur la protection des données personnelles**. Elles permettent d'apporter des réponses concrètes, illustrées d'exemples, aux enjeux juridiques et techniques liés à l'application du RGPD à l'IA. Les points abordés dans ces premières recommandations permettent en particulier de :

- déterminer le régime juridique applicable ;
- définir une finalité ;
- déterminer la qualification juridique des acteurs ;
- définir une base légale ;
- effectuer des tests et vérifications en cas de réutilisation des données ;
- réaliser une analyse d'impact si nécessaire ;
- tenir compte de la protection des données dès les choix de conception du système ;
- tenir compte de la protection des données dans la collecte et la gestion des données. » (CNIL, 2024)

3.2 Une loi européenne sur l'IA (AI Act)

« Qu'est-ce que prévoit le règlement IA (ou AI Act) ? »

Le règlement européen sur l'IA (RIA) est la première législation générale (ou exhaustive) au monde sur l'intelligence artificielle. Il vise à encadrer le développement, la mise sur le marché et l'utilisation de systèmes d'intelligence artificielle (IA), qui peuvent poser des risques pour la santé, la sécurité ou les droits fondamentaux.

Quatre niveaux de risque

Le RIA propose une approche fondée sur les risques en classant les systèmes d'IA en quatre niveaux :

- **Risque inacceptable** : le RIA interdit un ensemble limité de pratiques contraires aux valeurs de l'Union européenne et aux droits fondamentaux.
Exemples : la notation sociale, l'exploitation de la vulnérabilité des personnes, le recours à des techniques subliminales, l'utilisation par les services répressifs de l'identification biométrique à distance en temps réel dans des espaces accessibles au public, la police prédictive ciblant les individus, reconnaissance des émotions sur le lieu de travail et dans les établissements d'enseignement.
- **Haut risque** : le RIA définit les systèmes d'IA comme étant à haut risque lorsqu'ils peuvent porter atteinte à la sécurité des personnes ou à leurs droits fondamentaux ce qui justifie que leur développement soit soumis à des exigences renforcées (évaluations de conformité, documentation technique mécanismes de gestion des risques) (...).
Exemples : systèmes biométriques, des systèmes utilisés dans le recrutement, ou pour des usages répressifs.
- **Risque spécifique en matière de transparence** : le RIA soumet des systèmes d'IA à des obligations de transparence spécifiques, notamment en cas de risque manifeste de manipulation.
Exemples : recours à des chatbots ou à la génération de contenu artificiel.
- **Risque minimal** : pour tous les autres systèmes d'IA, le RIA ne prévoit pas d'obligation spécifique. Il s'agit de la très grande majorité des systèmes d'IA actuellement utilisés dans l'UE ou susceptibles de l'être selon la Commission européenne.

Les systèmes d'IA à hauts risques dans le domaine de l'éducation et de la formation professionnelle

- a) systèmes d'IA destinés à être utilisés pour déterminer l'accès, l'admission ou l'affectation de personnes physiques à des établissements d'enseignement et de formation professionnelle, à tous les niveaux;
- b) systèmes d'IA destinés à être utilisés pour évaluer les acquis d'apprentissage, y compris lorsque ceux-ci sont utilisés pour orienter le processus d'apprentissage de personnes physiques dans les établissements d'enseignement et de formation professionnelle, à tous les niveaux;
- c) systèmes d'IA destinés à être utilisés pour évaluer le niveau d'enseignement approprié qu'une personne recevra ou sera en mesure d'atteindre, dans le contexte ou au sein d'établissements d'enseignement et de formation professionnelle à tous les niveaux;
- d) systèmes d'IA destinés à être utilisés pour surveiller et détecter des comportements interdits chez les étudiants lors d'examens dans le contexte d'établissements d'enseignement et de formation ou en leur sein à tous les niveaux.

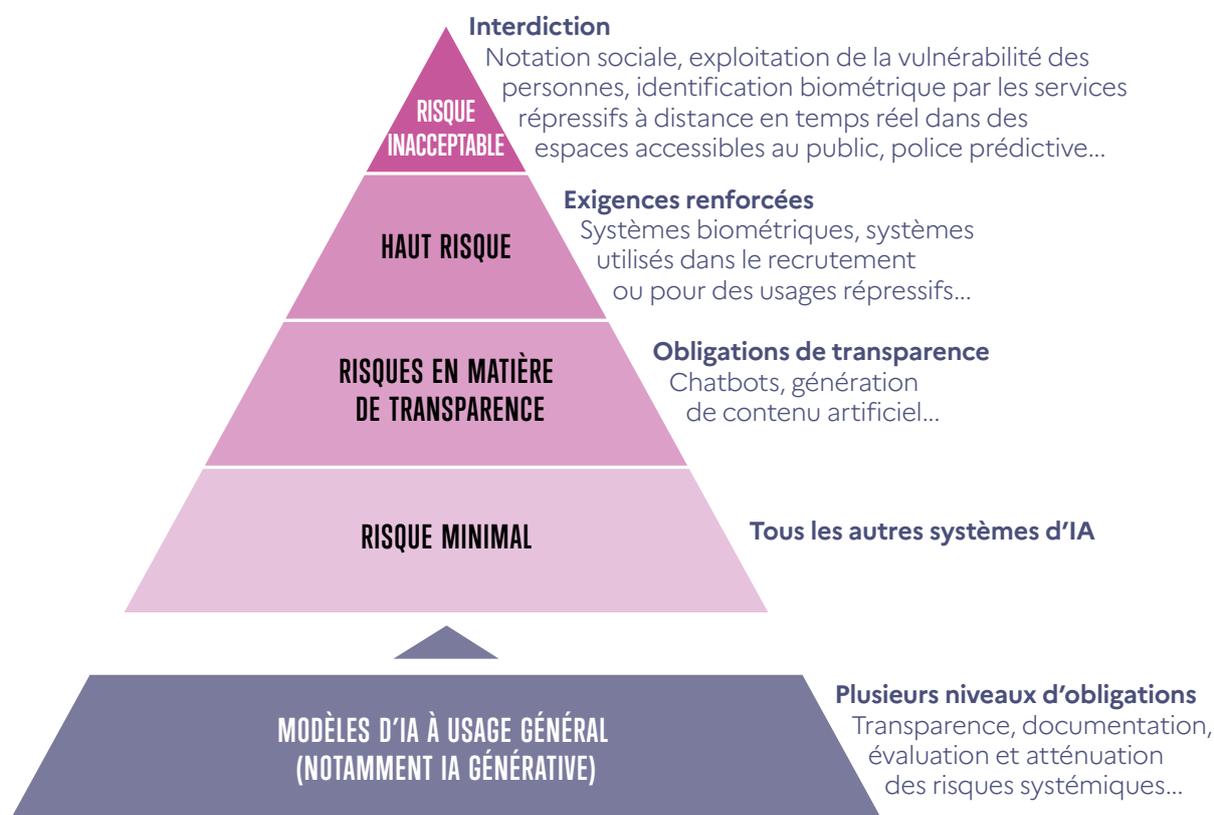
Source : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401689#anx_III

Les modèles d'IA à usage général

Par ailleurs, le RIA encadre aussi une nouvelle catégorie de modèles dits à usage général, notamment dans le **domaine de l'IA générative**. Ces modèles se définissent par leur capacité à servir à un grand nombre de tâches (comme les grands modèles de langage, ou LLM, tels que ceux proposés par les sociétés Mistral AI ou OpenAI), ce qui les rend difficiles à classer dans les catégories précédentes.

Pour cette catégorie, le RIA prévoit plusieurs niveaux d'obligation, allant de **mesures de transparence** et de documentation minimales (article 53) à une évaluation approfondie et la mise en place de **mesures d'atténuation des risques systémiques** que certains de ces modèles pourraient comporter, notamment en raison de leur puissance.»

Règlement IA - Approche par les risques



(CNIL, 2024)

Vers un cadre d'usage de l'IA en éducation

À partir de ces cadres juridiques et éthiques se posent des questions pratiques de mise en œuvre pour enseigner et apprendre avec l'IA. Comme dans d'autres pays, le ministère français engage une série de consultations début 2025 pour établir un cadre d'usage évolutif.

(DNE-TN2, 2025).

Exemple de guide pour les enseignants dans le monde francophone : (Direction du développement de la culture numérique - Sous-ministériat du numérique et de l'information, 2024)



3.3 Des lignes directrices issues des institutions internationales

« Il est essentiel de comprendre que les systèmes d'IA ne relèvent pas de la magie. **Des personnes conçoivent, entraînent et guident l'IA**, qu'il s'agisse de celles qui définissent les politiques et stratégies en matière d'IA, des programmeurs de logiciels qui construisent les systèmes d'IA, des individus qui collectent et classent les données utilisées par ces systèmes ou de ceux qui interagissent avec eux. Cela signifie que **tous les acteurs de l'écosystème de développement des technologies de l'IA doivent comprendre les principaux enjeux** qui leur imposent de contribuer à une utilisation responsable de l'IA. Il peut notamment s'agir de **savoir pourquoi et comment un système d'IA a été conçu, par qui et dans quel but.** »

(UNICEF, 2021)

« Pour une utilisation éthique de l'IA et des données dans l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation, **la Commission européenne propose quatre considérations clés** à intégrer :

- **action humaine et contrôle humain** : capacité d'action des acteurs de l'éducation (enseignants, apprenants, chefs d'établissement);
- **équité** : impartialité, inclusion, non-discrimination et juste répartition des droits et des responsabilités;
- **humanité** : considération pour les personnes, leur identité, leur intégrité et leur dignité;
- **justification des choix, transparence et explicabilité** : utilisation de connaissances, de faits et de données pour justifier les choix collectifs dans l'environnement scolaire, via des modèles participatifs et collaboratifs de prise de décision. »

D'après (Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture & European Commission, 2022)

3.4 La diversité des enjeux éthiques vue par la recherche

« Les enjeux éthiques et critiques que soulève l'IA en éducation sont multiples et ont des origines diverses : utilisation de **données massives**, pouvant avoir un impact sur le **respect de la vie privée** des élèves et du personnel scolaire, production par des entreprises privées plutôt que par des instances scolaires, par la recherche en informatique ou en sciences, technologies, ingénierie et mathématiques plutôt que par les sciences de l'éducation, **biais de représentativité** par manque de diversité au sein des équipes de conception. »

D'après (Collin & Marceau, 2021)

3.5 L'enjeu de l'explicabilité

« Dans le domaine éducatif, deux catégories d'utilisateurs doivent s'approprier l'environnement numérique : les apprenants et les enseignants. **La question de l'appropriation des EIAH [Environnements informatiques pour l'apprentissage humain] par les enseignants est essentielle pour que ces outils soient davantage utilisés dans l'enseignement.** Il faut donc concevoir des systèmes que les enseignants pourront adapter afin qu'ils répondent à leurs besoins. Pour cela, **l'enseignant doit pouvoir comprendre les décisions ou recommandations du système d'IA concernant ses élèves**, pour avoir confiance dans le système et, d'une certaine façon, "faire corps" avec lui pour être capable d'expliquer le comportement conjugué du dispositif tel qu'il a été mis en place. Cela nécessite une représentation explicite des connaissances et des processus de décision. **La question de l'explicabilité doit être prise en compte dès la conception.** »

(Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA), 2022)

4. Quels domaines d'application ?

4.1 Catégorisation et taxonomie

Catégorisation proposée par la Commission européenne

| Enseignement | Soutien à l'apprenant | Soutien à l'enseignant | Soutien au système éducatif |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Environnement informatique pour l'apprentissage humain• Systèmes tutoriels fondés sur le dialogue• Applications d'aide à l'apprentissage des langues | <ul style="list-style-type: none">• Environnements d'apprentissage exploratoire• Évaluation formative des écrits• Apprentissage collaboratif assisté par l'IA | <ul style="list-style-type: none">• Évaluation sommative des écrits, notation• Repérage de mots-clés dans les forums d'apprenants• Assistants pédagogiques basés sur l'IA• Recommandation de ressource pédagogique | <ul style="list-style-type: none">• Exploration des données éducatives pour l'allocation des ressources• Diagnostic des difficultés d'apprentissage• Services d'orientation |

D'après (European Commission. Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture, 2022)

Autre catégorisation explorée par les groupes thématiques numériques

- Systèmes adaptatifs et personnalisés (recommandation et sélection de contenus, de ressources), évaluation adaptative et correction automatique.
- Robots conversationnels et systèmes de tutorat intelligent, par ex. pour l'enseignement de la démarche d'investigation et de la démarche scientifique (Cisel & Baron, 2019).
- Anticipation précoce, prédiction et prévention de l'abandon scolaire.
- Détection et remédiation aux difficultés d'apprentissage.
- Utilisation de savoirs produits par la recherche avec l'IA (analyse d'image, annotation, classification et résumé/synthèse automatiques, traitement de données massives sur des corpus textuels ou iconographiques).
- Usages administratifs.

D'après (DNE-TN2, 2021) (DNE-TN2, 2022) (Lepage Alexandre, 2022) (Romero et al., 2021)

Taxonomie d'après la revue de littérature de (Holmes et al., 2022)

IA au service des élèves

Systèmes de tutorat intelligents

Applications assistées par l'IA (par exemple, mathématiques, synthèse vocale, apprentissage des langues)

Simulations assistées par l'IA (par exemple, apprentissage par le jeu, réalité virtuelle, réalité augmentée)

IA pour aider les apprenants à besoins éducatifs particuliers

Rédaction automatique d'essais

Agents conversationnels

Évaluation formative automatique

Orchestrations de réseaux d'apprentissage

Systèmes de tutorat basés sur le dialogue

Environnements d'apprentissage exploratoire

Assistant d'apprentissage tout au long de la vie assisté par l'IA

IA au service de l'enseignant

Détection de plagiat

Curation intelligente du matériel d'apprentissage

Surveillance de la classe

Évaluation sommative automatique

IA d'assistance de l'enseignant (y compris assistant d'évaluation)

Orchestration de la salle de classe

IA au service des institutions

Admissions (par exemple, sélection des élèves)

Planification des cours – Planification des horaires – Programmation horaire

Sécurité des écoles

Identification précoce des *décrocheurs* et des élèves à risque

e-Proctoring (surveillance des examens à distance)

D'après (Holmes et al., 2022) traduction par (Bocquet, 2023)

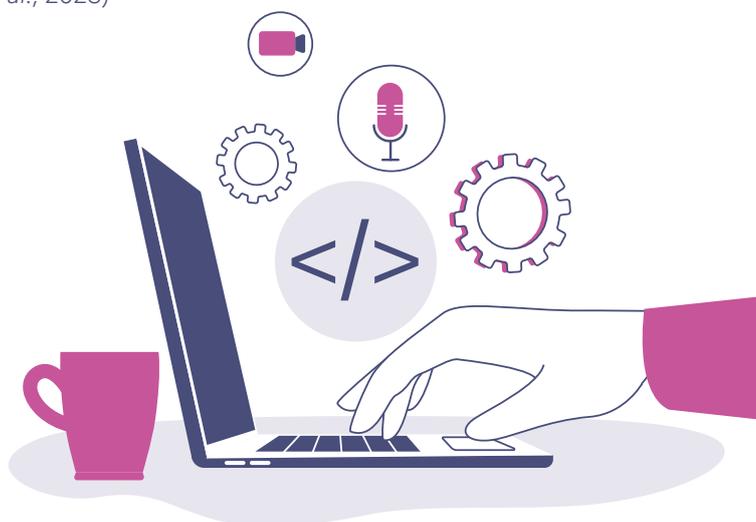
4.2 Quels apports pour l'expérience d'apprentissage ?

« L'intelligence artificielle joue un rôle important et croissant dans l'éducation. Un cas important est celui des **systèmes d'enseignement personnalisés** qui sont déjà bien établis, avec des **preuves croissantes de leur efficacité pour améliorer l'apprentissage** (VanLehn, 2011; Kulik & Fletcher, 2016; Steenbergen-Hu & Cooper, 2014, 2013; Ma, Adesope, Nesbit, & Liu, 2014; du Boulay, 2016). Les systèmes d'IA dans l'éducation (AIED) peuvent également faire un **usage diversifié et sophistiqué de l'IA pour créer l'interface si importante pour l'expérience d'apprentissage**. Par exemple, l'interface peut utiliser le **traitement et la génération du langage naturel**, les **interfaces vocales**, les **avatars**, l'**analyse vidéo de l'apprenant** pour juger de son attention et de son émotion. » [Traduction]

(Khosravi et al., 2022)

« En utilisant des algorithmes, **l'apprentissage peut être adaptatif**. En analysant les traces d'apprentissage de l'élève, comme des résultats à des questionnaires ou des données d'utilisation d'un logiciel, le système peut modifier son fonctionnement pour s'adapter à la personne, notamment à travers la **sélection de contenus et du niveau de difficulté**. Il commence à être possible d'analyser son comportement grâce à des capteurs, certains externes comme une caméra, et d'autres plus intrusifs comme une interface cerveau-ordinateur. Ce principe d'adaptation est au cœur de la pédagogie numérique, et se rencontre le plus souvent dans un contexte où sont aussi poursuivis des **objectifs de ludification**; l'apprenant s'inscrivant alors dans un jeu pédagogique avec la machine, parfois en collaboration avec d'autres apprenants (Giraudon et al., 2020). Le projet KidLearn (...) propose une activité d'apprentissage dont les multiples variantes impliquant additions ou soustractions de nombres entiers ou décimaux ont été conçues et mises en place par des didacticiens. Ces variantes sont organisées sous forme d'un graphe de difficultés croissantes, **en respectant le concept de zone proximale de développement (Vygotsky, 1978)**. Ce concept est fondé sur l'idée que, entre un exercice trop difficile qui décourage et un exercice trop facile qui lasse, il existe une zone optimale qui maximise le progrès d'apprentissage, mesuré ici en observant les performances de l'élève au fil du jeu. Ce sont ces éléments qui sont intégrés à l'algorithme, qui va s'adapter automatiquement à la personne apprenante (Oudeyer et al., 2020). »

(Romero et al., 2023)



Exemple d'enseignement adaptatif pour l'apprentissage de la lecture et du français

«Lalilo développe un assistant pédagogique pour les enseignant-e-s de CP, CE1 et CE2, afin de les aider à **différencier leur enseignement de la lecture en fonction de l'avancement de chaque élève**, grâce à des technologies d'intelligence artificielle. L'assistant est une plateforme en ligne, avec une interface élève et une interface professeur-e. Il est co-construit avec les professeur-e-s des écoles : l'amélioration de la plateforme est continue, prenant en compte les retours des enseignant-e-s. (...)

Un algorithme d'apprentissage adaptatif : l'objectif de Lalilo, aider les enfants à apprendre à lire à leur propre rythme, repose sur une progression pédagogique fixée, divisée en leçons. Chaque leçon contient plusieurs "objectifs d'apprentissage", qui contiennent à leur tour une large gamme de questions. Par exemple, la leçon "voyelle [a]" contient deux objectifs d'apprentissage : "reconnaître le graphème a" et "décoder le phonème [a]". (...) Le système d'apprentissage adaptatif permet de choisir le meilleur exercice pour un enfant à un moment donné en fonction de sa progression et des exercices effectués.»

(Gelin, 2022)

[Lalilo fait partie des projets lauréats du partenariat d'innovation intelligence artificielle (P2IA) soutenus par le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse.]

4.3 IA et production de connaissances : l'exemple des humanités numériques

«...La linguistique de corpus et la sémantique se sont considérablement développées grâce aux analyses d'IA sur la représentation des connaissances et sur l'apprentissage automatique. De même, de nombreux développements ont ouvert des **perspectives sur les études littéraires**. Au début du millénaire, sous la pression d'éditeurs (et non de scientifiques) le terme anglais *Humanities Computing* qui caractérisait les recherches à la frontière des humanités au sens anglo-saxon, c'est-à-dire des **sciences de la culture**, se transforma en *Digital Humanities* ("humanités numériques"). Ce changement de dénomination signifiait que les humanités n'étaient plus simplement instrumentées par l'utilisation d'ordinateurs, mais qu'elles se transformaient en devenant numériques. On a parlé de "**tournant calculatoire**" pour caractériser cette évolution vue comme fondamentale. Le renouvellement qui s'en est suivi a été très fructueux. Dans tous les pays, de nombreuses équipes de recherche travaillant dans le champ des humanités classiques, que ce soit en histoire, en archéologie ou en littérature, ont renouvelé leurs approches en collaboration avec des informaticiens.»

(Ganascia, 2022)

5. Quelles pistes de travail pour former à l'IA et l'enseigner ?

5.1 La CREIA, une communauté de pratique sur l'IA en éducation

« En plaçant l'intelligence artificielle au cœur des réflexions et des pratiques éducatives, la **CREIA (Communauté de Réflexion en Éducation sur l'Intelligence Artificielle)**, lancée en novembre 2023 par la Direction du Numérique pour l'Éducation (DNE), est une communauté apprenante entre pairs. Depuis le 30 août 2024, cette communauté s'adresse à l'ensemble des membres de la communauté éducative.

Elle propose d'accompagner les transformations numériques du système éducatif depuis la disponibilité au grand public des IA génératives. Elle soutient une vision de l'IA comme levier d'inclusion, d'innovations et d'améliorations continues des pratiques pédagogiques en proposant un travail de veille, un corpus mis à jour de documents de cadrage, pédagogiques ou issus de la recherche, des forums de discussions et des micromodules de formation. Des webinaires sont fréquemment organisés pour mettre en lumière et partager des pratiques inspirantes.

La CREIA favorise ainsi l'échange d'idées et d'expériences au sein d'un réseau de plus de cent formateurs issus des DRANE et des opérateurs de l'éducation nationale. »

(DNE-TN2, 2024)



m@gistère

5.2 Cadre de compétences de la littératie en IA

Cadres de compétences en IA pour les professeurs et les élèves (UNESCO)

Cadre de compétences en IA pour les enseignants : aspects et niveaux de progression

| Aspects | Progression | | |
|---------------------------------------|--|---|---|
| | Acquérir | Approfondir | Créer |
| 1. Approche centrée sur l'humain | Capacité humaine d'agir | Responsabilité humaine | Responsabilité sociale |
| 2. Éthique de l'IA | Principes éthiques | Utilisation sûre et responsable | Co-construction de règles éthiques |
| 3. Fondements et applications de l'IA | Techniques et applications de base en IA | Compétences applicatives | Création avec l'IA |
| 4. Pédagogie et IA | Enseignement assisté par l'IA | Intégration de l'IA dans la pédagogie | Transformation pédagogique grâce à l'IA |
| 5. Développement professionnel et IA | Facilitation de l'apprentissage tout au long de la vie | Renforcement de l'apprentissage organisationnel | Soutien à la transformation professionnelle |

Cadre de compétences en IA pour les élèves

| Compétences | Progression | | |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| | Comprendre | Appliquer | Créer |
| Approche centrée sur l'humain | Capacité humaine d'agir | Responsabilité humaine | Citoyenneté à l'ère de l'IA |
| Éthique de l'IA | Éthique incarnée | Utilisation sûre et responsable | Éthique intégrée dès la conception |
| Techniques et applications de l'IA | Fondements de l'IA | Compétences applicatives | Création d'outils d'IA |
| Conception de systèmes d'IA | Définition des problèmes | Conception d'architectures | Itérations et boucles de rétroaction |

(Miao & Cukurova, 2024; Miao & Shiohira, 2024) [Traduction]

Cadre de compétences proposé par (Long et Magerko, 2020)

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'apprentissage machine (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.

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 (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 » (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), prise de décision, diversité, partialité, transparence et responsabilité.

17. Programmabilité

Comprendre que les agents sont programmables.

D'après (Long et Magerko, 2020) cité par (UNESCO, 2022)

5.3 Un enjeu majeur : citoyenneté, esprit critique, EMI et formation à l'IA

« L'IA concerne tous les citoyens d'abord parce qu'elle est de plus en plus présente dans tous les secteurs de la société et ensuite parce qu'**il est nécessaire de la comprendre pour participer aux débats éthiques** qu'elle engendre. **Il est normal de se questionner sur la pertinence de confier à des algorithmes des tâches qui mènent à des décisions cruciales**, par exemple en matière de justice, d'embauche, ou d'autres situations à fortes conséquences humaines. (...) **Le MOOC ["intelligence artificielle avec intelligence" de l'Inria] adopte une approche pédagogique ludique et expérientielle** »

(Romero *et al.*, 2023)

« L'éducation aux médias et à l'information [EMI] a souvent tiré sa légitimité de son rôle en faveur de la citoyenneté. En effet, elle augmente le pouvoir d'action civique et favorise l'utilisation éthique des médias et de l'information, pour une meilleure participation aux affaires sociales. (...) Les évolutions qu'entraîne l'IA [générative] obligent les travailleurs à acquérir de nouvelles compétences numériques à travers la formation continue et l'apprentissage tout au long de la vie. L'insuffisance des compétences en matière de réflexion critique, civiques et créatives peut être un frein susceptible de maintenir des individus dans la pauvreté ou de les marginaliser. »

(Frau-Meigs, 2024)

Réponse produite par DeepSeek v3 (03/01/25)

Instruction (prompt)

Il faut produire une proposition de parcours pour un formateur sur le numérique en éducation. Dans le contexte de l'enseignement scolaire en France, proposer, sous la forme d'un tableau, un module de formation d'environ trois heures d'initiation à l'intelligence artificielle pour enseigner et apprendre à destination des professeurs (enseignement primaire et secondaire).

Ce module doit présenter par exemple, et sans se limiter aux origines de l'IA, les définitions de base, les enjeux pour l'éducation (pour pédagogues et personnels d'encadrement), les enjeux juridiques et éthiques et des exemples d'application scolaire.

L'ordre des contenus peut être modifié et doit être proposé dans la réponse. Plusieurs options de déroulé des contenus peuvent être exposées. Le formateur fera ensuite un choix adapté aux besoins des professeurs en fonction de leur niveau de connaissance du sujet. Le contenu doit impérativement intégrer les évolutions technologiques récentes et l'état de la recherche sur le sujet.

Réponse

Voici une proposition de parcours de formation pour un formateur sur le numérique en éducation, structuré sous forme de tableau. Ce module de trois heures est conçu pour initier les enseignants du primaire et du secondaire à l'intelligence artificielle (IA) dans un contexte éducatif. Il est modulable et adaptable en fonction du niveau de connaissance des participants.

Module de formation : Initiation à l'IA pour enseigner et apprendre

| Durée | Thème | Contenu détaillé | Format | Options de déroulé |
|-------------|--|--|---|---|
| 0h00 - 0h15 | Introduction : L'IA, de quoi parle-t-on ? | <ul style="list-style-type: none">Présentation des objectifs de la formation.Définition de l'IA : <i>machine learning</i>, <i>deep learning</i>, réseaux de neurones.Origines historiques de l'IA (des années 1950 à aujourd'hui).État actuel de la recherche et évolutions récentes (GPT, modèles génératifs, etc.). | Exposé interactif avec support visuel (diapositives, vidéos courtes). | Option 1 : Commencer par les définitions et origines. Option 2 : Commencer par une démonstration pratique pour susciter l'intérêt. |
| 0h15 - 0h45 | Les enjeux de l'IA pour l'éducation | <ul style="list-style-type: none">Impacts sur les méthodes d'enseignement et d'apprentissage.Personnalisation des parcours éducatifs grâce à l'IA.Rôle de l'IA dans l'évaluation et le <i>feedback</i>.Exemples concrets : outils d'aide à la rédaction, tuteurs intelligents, analyse de données éducatives. | Exposé + échanges avec les participants. | Option 1 : Approfondir les enjeux pédagogiques. Option 2 : Intégrer un débat sur les craintes et opportunités. |
| 0h45 - 1h15 | Applications scolaires de l'IA | <ul style="list-style-type: none">Présentation d'outils et plateformes utilisant l'IA :<ul style="list-style-type: none">ChatGPT et autres assistants conversationnels;plateformes adaptatives (ex : Khan Academy, Lalilo);outils de détection du plagiat;applications pour élèves à besoins spécifiques (ex : DYS).Démonstration pratique d'un outil. | Démonstration + atelier pratique (manipulation d'un outil). | Option 1 : Focus sur les outils adaptatifs. Option 2 : Focus sur les assistants conversationnels. |

| Durée | Thème | Contenu détaillé | Format | Options de déroulé |
|-------------|---|---|--|--|
| 1h15 - 1h45 | Enjeux juridiques et éthiques de l'IA | <ul style="list-style-type: none"> Protection des données personnelles (RGPD). Questions de biais algorithmiques et d'équité. Transparence et responsabilité des systèmes d'IA. Impact sur l'autonomie et la créativité des élèves. Débat : comment encadrer l'usage de l'IA en classe ? | Exposé + débat en groupe. | <p>Option 1 : Approfondir les aspects juridiques.</p> <p>Option 2 : Mettre l'accent sur les questions éthiques.</p> |
| 1h45 - 2h15 | Intégrer l'IA dans sa pratique pédagogique | <ul style="list-style-type: none"> Scénarios pédagogiques utilisant l'IA : <ul style="list-style-type: none"> – création de supports de cours; – aide à la différenciation pédagogique; – utilisation de l'IA pour des projets interdisciplinaires; – partage d'expériences entre participants. | Travail en petits groupes + restitution. | <p>Option 1 : Proposer des scénarios clés en main.</p> <p>Option 2 : Laisser les participants concevoir leurs propres scénarios.</p> |
| 2h15 - 2h45 | Limites et perspectives de l'IA en éducation | <ul style="list-style-type: none"> Les limites technologiques actuelles de l'IA. Les compétences à développer chez les enseignants et les élèves. Les perspectives futures : IA et métavers, réalité augmentée, etc. Discussion ouverte sur les craintes et les opportunités. | Exposé + discussion ouverte. | <p>Option 1 : Insister sur les limites.</p> <p>Option 2 : Explorer les perspectives futures.</p> |
| 2h45 - 3h00 | Conclusion et évaluation | <ul style="list-style-type: none"> Synthèse des points clés. Évaluation de la formation (questionnaire ou tour de table). Ressources pour aller plus loin (articles, livres, formations en ligne). | Échanges + questionnaire. | <p>Option 1 : Évaluation écrite.</p> <p>Option 2 : Évaluation orale sous forme de tour de table.</p> |

Options de déroulé global :

1. Parcours progressif :

- Définitions et origines → Enjeux éducatifs → Applications pratiques → Aspects juridiques et éthiques → Intégration pédagogique → Perspectives.
Adapté aux débutants.

2. Parcours pratique :

- Démonstration d'outils → Applications scolaires → Intégration pédagogique → Enjeux éducatifs et éthiques → Perspectives.
Adapté aux enseignants déjà sensibilisés à l'IA.

3. Parcours réflexif :

- Enjeux éthiques et juridiques → Limites et perspectives → Applications scolaires → Intégration pédagogique.
Adapté aux enseignants intéressés par les aspects critiques de l'IA.

Ressources supplémentaires :

- Vidéos :** chaînes YouTube comme « Science étonnante » ou « Heureka ».
- Articles :** publications récentes sur l'IA en éducation (ex : rapports de l'UNESCO, articles de recherche).
- Outils :** liste d'outils IA gratuits ou accessibles pour les enseignants (ex : ChatGPT, Canva AI, Quizizz).

Ce module est conçu pour être flexible et adapté aux besoins des enseignants, tout en intégrant les dernières évolutions technologiques et les enjeux actuels de l'IA en éducation. Le formateur pourra ajuster le déroulé en fonction du profil des participants et de leurs attentes.

Réponse produite par Le Chat de Mistral (06/01/25)

Instruction (prompt)

Il faut produire une proposition de parcours pour un formateur sur le numérique en éducation. Dans le contexte de l'enseignement scolaire en France, proposer, sous la forme d'un tableau, un module de formation d'environ trois heures d'initiation à l'intelligence artificielle pour enseigner et apprendre à destination des professeurs (enseignement primaire et secondaire).

Ce module doit présenter par exemple, et sans se limiter aux origines de l'IA, les définitions de base, les enjeux pour l'éducation (pour pédagogues et personnels d'encadrement), les enjeux juridiques et éthiques et des exemples d'application scolaire.

L'ordre des contenus peut être modifié et doit être proposé dans la réponse. Plusieurs options de déroulé des contenus peuvent être exposées. Le formateur fera ensuite un choix adapté aux besoins des professeurs en fonction de leur niveau de connaissance du sujet. Le contenu doit impérativement intégrer les évolutions technologiques récentes et l'état de la recherche sur le sujet.

Réponse

Voici une proposition de parcours pour un module de formation de trois heures sur l'intelligence artificielle (IA) à destination des professeurs du primaire et du secondaire. Ce module intègre les évolutions technologiques récentes et l'état de la recherche sur le sujet.

Option 1 : Déroulé linéaire

| Durée | Contenu | Description |
|-------|--|--|
| 0:15 | Introduction | Présentation du formateur et des objectifs du module. Tour de table pour connaître les attentes et le niveau de connaissance des participants. |
| 0:30 | Origines et définitions de l'IA | Historique de l'IA, définitions de base, et concepts clés (apprentissage automatique, apprentissage profond, etc.). |
| 0:30 | Enjeux pour l'éducation | Impact de l'IA sur les méthodes pédagogiques, personnalisation de l'apprentissage, et outils EdTech basés sur l'IA. |
| 0:30 | Enjeux juridiques et éthiques | Questions de confidentialité des données, biais algorithmiques, et régulations en vigueur. Discussion sur l'éthique de l'utilisation de l'IA en éducation. |
| 0:30 | Applications scolaires | Exemples concrets d'utilisation de l'IA dans les écoles : assistants virtuels, plateformes de soutien scolaire, et outils de gestion administrative. |
| 0:15 | Conclusion et Q&A | Synthèse des points clés, discussion ouverte, et réponses aux questions des participants. |

Option 2 : Déroulé thématique

| Durée | Contenu | Description |
|-------|--|--|
| 0:15 | Introduction | Présentation du formateur et des objectifs du module. Tour de table pour connaître les attentes et le niveau de connaissance des participants. |
| 0:45 | Thème 1 : Fondamentaux de l'IA | Origines de l'IA, définitions de base, et concepts clés. Discussion sur les avancées récentes en IA et machine learning. |
| 0:45 | Thème 2 : IA dans l'éducation | Enjeux pédagogiques, outils EdTech, et applications concrètes. Étude de cas sur l'intégration de l'IA dans les établissements scolaires. |
| 0:45 | Thème 3 : Enjeux juridiques et éthiques | Confidentialité des données, biais algorithmiques, et régulations. Débat sur les implications éthiques de l'utilisation de l'IA en éducation. |
| 0:15 | Conclusion et Q&A | Synthèse des points clés, discussion ouverte, et réponses aux questions des participants. |

Option 3 : Déroulé interactif

| Durée | Contenu | Description |
|-------|---|--|
| 0:15 | Introduction | Présentation du formateur et des objectifs du module. Tour de table pour connaître les attentes et le niveau de connaissance des participants. |
| 0:30 | Atelier 1 : Découverte de l'IA | Activités interactives pour comprendre les bases de l'IA. Utilisation d'outils en ligne pour expérimenter des algorithmes simples. |
| 0:30 | Atelier 2 : IA et éducation | Présentation d'outils EdTech et discussion sur leur intégration dans les pratiques pédagogiques. Études de cas et retours d'expérience. |
| 0:30 | Atelier 3 : Défis éthiques et juridiques | Jeux de rôle et discussions sur les enjeux éthiques et juridiques de l'IA. Analyse de scénarios réels et propositions de solutions. |
| 0:30 | Atelier 4 : Applications pratiques | Démonstrations d'applications concrètes de l'IA dans les écoles. Discussion sur les meilleures pratiques et les défis à relever. |
| 0:15 | Conclusion et Q&A | Synthèse des points clés, discussion ouverte, et réponses aux questions des participants. |

Ces options de déroulé peuvent être adaptées en fonction des besoins spécifiques des professeurs et de leur niveau de connaissance de l'IA.

5.4 Formation à l'IA et prévention du décrochage scolaire

« La **Scientothèque** est une association sans but lucratif installée au sein de l'Expérimentarium, musée de Physique de l'Université Libre de Bruxelles. Depuis sa fondation en 2001, sa mission principale est de contribuer à la diminution des inégalités sociales. Deux réalités ont mené à la mise en place de l'association : d'une part, le risque accru de décrochage scolaire et la difficulté d'accès aux études supérieures pour les jeunes issus de milieux précarisés (Coslin, 2012) et, d'autre part, la désaffection pour les études scientifiques de la part du public féminin. Il a d'ailleurs été démontré qu'il était moins évident d'attirer les filles vers les projets à caractère scientifique ou technologique (Blanchard, 2021). (...) Une sélection d'activités a été proposée à deux groupes de jeunes de 10-12 ans durant l'année scolaire 2020-2021 lors d'**ateliers extrascolaires hebdomadaires** à l'Institut des Ursulines à Koekelberg. Ce projet, financé par la région de Bruxelles-Capitale, visait à diminuer le décrochage scolaire pour des élèves vivant dans des quartiers précarisés. Tout au long des séances, les jeunes ont pu, grâce à une **approche ludique et collaborative**, découvrir l'histoire des machines, établir des liens avec l'intelligence biologique, comprendre ce qui se cache derrière le mot "algorithme", observer et programmer des robots Thymio, s'initier à la programmation sur la plateforme Scratch, et débattre des conséquences de l'IA sur la société. »

(Romero *et al.*, 2023)

5.5 Le projet européen AI4T : un MOOC et un Open TextBook « IA pour et par les enseignants »

Former les enseignants et les personnels d'encadrement à l'intelligence artificielle et à ses apports en éducation :

<https://eduscol.education.fr/2643/intelligence-artificielle-et-education-les-ressources-de-formation-du-projet-europeen-ai4t>

Ce cours a pour **objectif d'aider les enseignants et la communauté éducative dans son ensemble à acquérir une compréhension générale sur l'IA** – ses usages, ses technologies et ses limites, et à les accompagner vers un usage éclairé des outils basés sur l'IA dans le contexte de l'Éducation.

Chaque module propose des vidéos, des textes, des activités, des quiz et un accès au forum pour partager vos expériences et interagir avec l'équipe pédagogique et avec les autres participants. L'ensemble du parcours peut être réalisé en trois à cinq heures.



Le MOOC, réalisé par l'Inria, a été développé et expérimenté auprès d'enseignants et chefs d'établissement dans le cadre du **projet européen AI4T, réunissant cinq pays : la France, l'Italie, l'Irlande, le Luxembourg et la Slovaquie.**



Dans ce contexte, les contenus ont été élaborés avec les cinq ministères de l'éducation impliqués dans le projet et notamment le MENJ (Direction du numérique pour l'éducation), et notamment le ministère de l'éducation nationale français (Direction du numérique pour l'éducation); le projet a été coordonné par France Éducation International.

Accès au MOOC en Français via la plateforme FUN : <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/intelligence-artificielle-pour-et-par-les-enseignants-ai4t/>



Le MOOC est accompagné d'un manuel ouvert AI4T (Open TextBook) via la Chaire UNESCO RELIA : <https://chaireunescorelia.univ-nantes.fr/2023/11/16/le-manuel-ouvert-ai4t-en-route-pour-la-deuxieme-edition/>

<https://pressbooks.pub/iapourlesenseignants>



6 Le tournant des systèmes d'IA générative et des grands modèles de langage

6.1 Le développement de l'IA générative

Présentation générale

«Avant 2014, tous les modèles d'apprentissage profond existants étaient principalement descriptifs, se concentrant sur le résumé ou les schémas et les relations de données existants. Ces modèles visaient à expliquer les schémas de données et à prédire basées sur les informations présentes. Cependant, (Goodfellow et al., 2014) ont introduit le **Generative Adversarial Network (GAN)**, ce qui a ouvert une nouvelle ère de l'intelligence artificielle générative (GAI). Contrairement à leurs homologues descriptifs, les modèles génératifs, tels que les GAN, sont conçus pour apprendre la distribution de probabilité sous-jacente des données. Leur objectif principal est de **générer de nouveaux échantillons de données qui ressemblent étroitement aux modèles observés dans les données d'apprentissage**. La percée du GAN a marqué une rupture significative des méthodes traditionnelles d'apprentissage profond, ouvrant des possibilités passionnantes pour l'intelligence artificielle générative. L'intelligence artificielle générative a depuis lors suscité une grande attention en raison de son **impact transformateur** dans divers domaines de la vie. Elle offre des solutions élégantes à des problèmes complexes, ce qui permet de créer des données synthétiques, du contenu artistique et des images réalistes. Ce changement de paradigme dans la technologie de l'IA a profondément influencé la nouvelle perception, la mise en œuvre et l'utilisation de l'intelligence artificielle, suscitant l'innovation et de nouvelles possibilités d'application dans tous les secteurs. (...) Le travail novateur de Vaswani et al. **"Attention Is All You Need" [2017]** par l'équipe de Google Brain a introduit un **modèle de transformateur [Transformer]** capable d'analyser des ensembles de données à grande échelle. [Ce modèle] a été initialement développé pour le traitement du naturel (NLP), mais a ensuite été adapté à d'autres domaines de l'apprentissage automatique, tels que la vision par ordinateur. (...) Ainsi, la solution proposée présentait une nouvelle façon de traiter les tâches comme la traduction, la génération de contenu et l'analyse d'émotion.»

(Bengesi et al., 2023)

«Au cours des deux dernières années, une **pléthore de grands modèles génératifs** tels que ChatGPT ou Stable Diffusion ont été publiés. Concrètement, ces modèles sont capables d'effectuer des tâches telles qu'un système général de questions-réponses ou la création automatique d'images artistiques **qui révolutionnent plusieurs secteurs**. Par conséquent, les implications que ces modèles génératifs ont dans l'industrie

et la société sont considérables, car plusieurs tâches professionnelles peuvent être transformées. Par exemple, l'IA générative est capable de transformer de manière efficace et créative des textes en images, comme le modèle DALLÉ-2; des textes en images 3D, comme le modèle Dreamfusion; des images en texte, comme le modèle Flamingo; des textes en vidéo, comme le modèle Phenaki; des textes en audio, comme le modèle AudioLM; des textes en d'autres textes, comme ChatGPT; des textes en code, comme le modèle Codex; des textes en textes scientifiques, comme le modèle Galactica ou même créer des algorithmes comme AlphaTensor.»



L'**IA générative** désigne les technologies d'IA entraînées sur des données massives (ensemble de Wikipédia, GitHub, réseaux sociaux, Google Images, etc.) et **pouvant générer de nouveaux contenus** (texte, image, audio, vidéo) de façon aléatoire à partir d'une information d'entrée («*prompt*») saisie par l'utilisateur.

Les **modèles d'IA générative** (réseaux de neurones profonds, *transformers* et autres modèles, tels que les réseaux antagonistes génératifs, [GAN : *generative adversarial networks*]), qui se multiplient surtout depuis 2022, peuvent être répartis selon la taxonomie suivante :

- texte à image (ex. DALL-E 2 d'OpenAI);
- texte à représentations 3D (ex. Dreamfusion de Google Research);
- image à texte (ex. Flamingo de Deepmind);
- texte à vidéo (ex. Phenaki de Google Research);
- texte à audio (Jukebox d'OpenAI);
- texte à texte (ex. ChatGPT d'OpenAI);
- texte à code (ex. Codex d'OpenAI);
- texte à formule scientifique (ex. Galactica de Meta AI);
- autres modèles.

D'après (Gozalo-Brizuela & Garrido-Merchan, 2023)

Les modèles de fondation

«Un modèle de fondation (*Foundation Model*), selon l'appellation introduite par l'université Stanford, est un modèle de grande taille fondé sur une architecture de réseau de neurones profond, entraîné sur une grande quantité de données non annotées (généralement par apprentissage autosupervisé). Les grands modèles de langue (LLM pour *Large Language Model*) sont des cas particuliers des modèles de fondation qui sont entraînés sur un corpus de textes. Ces modèles de fondation ouvrent de **nouvelles perspectives et introduisent un nouveau paradigme dans le traitement de la langue, mais aussi dans le traitement des signaux multimodaux** (son, image, vidéo, etc.). Ces modèles pré-entraînés sur de grands corpus peuvent être optimisés pour réaliser une nouvelle application en utilisant peu de données supplémentaires spécifiques à cette tâche.»

(CNPEN, 2023)

6.2 Grands modèles de langage et nouvelle génération d'agents conversationnels

Comment fonctionnent les grands modèles de langage ?

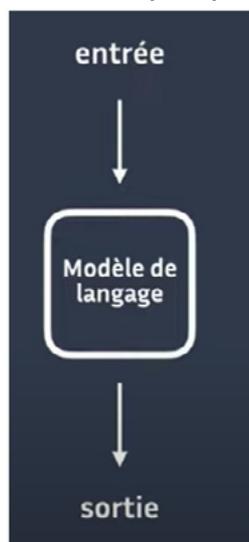
Le principe des modèles de langage (ou LLM : *Large Language Models*) n'est **pas nouveau** : ce type d'algorithme est déjà présent quotidiennement avec les **assistants de rédaction des messages** instantanés. Son fonctionnement consiste à **prédire le mot suivant** à partir d'une instruction (« *prompt* ») saisie par l'utilisateur. La **phase d'entraînement** permet d'ajuster les paramètres internes à partir de données textuelles issues du web (non vérifiées). Une quantité massive de données et de paramètres permet d'améliorer les performances de prédiction. On ne peut pas pour autant parler de « compréhension » ou de « personnalité » de l'algorithme, il s'agit d'abord de **réponses produites à partir de régularités statistiques**. Par ailleurs, ces modèles peuvent produire des « **hallucinations** », en inventant de fausses informations, ce qui nécessite la plus grande vigilance de la part de l'utilisateur. Actuellement les modèles de langage les plus puissants sont détenus par de grandes entreprises qui communiquent très peu sur leurs données d'entraînement.

D'après (Inria Flowers, 2023a)

Voir aussi (Inria Flowers, 2023b) sur le « *prompting* » : « faire réaliser une certaine tâche à un modèle de langage (...) en lui expliquant cette tâche au moyen de phrases en langage naturel. » Deux méthodes sont présentées : « expliquer la tâche en langage naturel, et donner des exemples de réalisation de la tâche. »

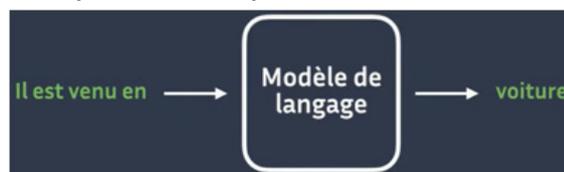
Fonctionnement d'un grand modèle de langage et *prompting*

Instruction (*prompt*)



Réponse

Principe de base : la prédiction de mots



Comment faire réaliser une tâche à un modèle de langage ?

Inria
flowers

D'après (Inria Flowers, 2023)

Accéder à l'ensemble des vidéos d'Inria Flowers :

https://developmentalsystems.org/chatgpt_5_minutes/fr/

Remarque : ces vidéos sont intégrées au projet AI4T (voir page 43).

Le « tournant ChatGPT » : origines et socle technologique

Dans cette catégorie des IA génératives, l'application ChatGPT, ouverte au public par société OpenAI depuis le 30 novembre 2022, représente une **nouvelle génération d'agent conversationnel** (*chatbot* en anglais), « agent qui dialogue avec un utilisateur dans le but de faire une recherche, de trouver une réponse à sa question ou encore de s'exercer dans une discipline donnée » (CSEN & DNE-TN2, 2022). En raison des performances affichées, elle constitue manifestement un **« saut qualitatif »** dans les technologies de traitement automatique du langage (TAL) – ou **analyse du langage naturel (Natural Language Processing – NLP)** (Boisson & DNE-TN2, 2023).

Ce **« prototype d'agent conversationnel (...)**, modèle de langage affiné à l'aide de techniques d'apprentissage supervisé et d'apprentissage par renforcement » (« ChatGPT », 2023), basé sur une intelligence artificielle générative, capable de générer des textes à la demande ou du code informatique à partir de questions en langage naturel, est une **application propriétaire développée** à partir d'une optimisation du modèle algorithmique GPT-3.5.

« Le GPT-3 est plus important que le GPT-2, avec 175 milliards de paramètres. Pour avoir une idée plus précise de la dimension de cet algorithme, les données de Wikipédia, qui comprennent environ 6 millions d'articles, ne représentent que 0,06 % des données entraînées par le GPT-3. »

(Boa Sorte et al., 2021)

Les technologies qui fondent ChatGPT peuvent être résumées ainsi :

- il s'agit d'un **« modèle de langage étendu**, un type d'intelligence artificielle qui utilise l'apprentissage profond (une forme d'apprentissage automatique) pour traiter et générer des textes en langage naturel (...) [Ce type de modèle est] formé sur des **quantités massives de données textuelles, lui permettant d'apprendre les nuances et les complexités du langage humain** » d'après (Susnjak, 2022);
- son appellation résulte d'une contraction entre « chat » pour conversation et « GPT » [*Generative Pre-trained Transformer*], qui est un « modèle de transduction de langage prédictif » (transduction : transformation d'une donnée représentée sous une forme en une donnée représentée sous une autre forme);
- son algorithme basé sur un **« transformer »** (Vaswani et al., 2017) correspond à un modèle d'architecture de réseau de neurones qui utilise le **mécanisme d'auto-attention permettant d'établir des relations entre les mots et de déterminer le sens d'un mot en fonction du contexte**, en se focalisant sur les mots les plus pertinents, permettant ainsi de s'approcher de façon crédible du langage naturel;
- il fonctionne selon un **modèle de prédiction de mots**, à partir des instructions/ consignes ou **« prompts »** de l'utilisateur en langage naturel, combinant dans sa phase d'entraînement apprentissage par renforcement et apprentissage supervisé à partir des rétroactions humaines;
- il est donc important de rappeler que, comme toute technologie IA, les textes produits sont générés et renforcés à partir d'**actions et de travail humains** (des personnes qui conçoivent l'algorithme jusqu'à celles qui identifient, vérifient des données, ou interagissent avec le programme).

Le socle technologique de ChatGPT est le résultat d'**« une combinaison de deux modèles »** : un modèle **linguistique** (dont les références s'arrêtent en 2021), GPT, modèle géant de prédiction de texte et modèle encyclopédique, et un modèle **conversationnel** (qui s'affine en fonction du retour des utilisateurs), InstructGPT, version "redressée" de GPT-3 à partir de l'annotation de textes générés. »

C'est aussi le résultat d'« une série de **strates issues de la recherche en linguistique et en informatique** :

- la **statistique sémantique**, avec le concept de “fenêtre contextuelle” (le sens procède de la position relative des mots les uns avec les autres);
- la **vectorisation de mots** (*word embedding* ou “plongement lexical”) permettant de caractériser un mot au sein d'espaces contextuels en fonction des mots voisins;
- les **réseaux de neurones** pour reconnaître les relations syntaxiques et sémantiques précises entre les mots et gérer les transferts linguistiques (les réponses aux instructions des utilisateurs peuvent ainsi s'appuyer sur un espace sémantique multilingue);
- les **modèles transformers** (2017) fondés sur le mécanisme d'attention et modélisant les formules syntaxiques;
- le développement des **grands modèles de langage**, à partir de 2018 avec BERT (Google) puis GPT-2 et 3 (OpenAI).»

D'après (Langlais, 2023)

Le 14 mars 2023, OpenAI annonce la montée en version de son modèle avec le lancement de **GTP-4** (service payant à ce jour ou disponible dans la nouvelle version du moteur de recherche Bing) : « **modèle multimodal** à grande échelle qui peut accepter des entrées d'image et de texte et produire des sorties de texte. Bien que moins capable que les humains dans de nombreux scénarios du monde réel, GPT-4 présente des performances de niveau humain sur divers critères professionnels et académiques, y compris la réussite d'un examen du barreau simulé avec un score autour des 10% des meilleurs candidats. » (OpenAI, 2023)

En mai 2024 est rendu public le modèle **GPT-4o** (« omnimodèle ») intégrant un mode d'interaction vocale en temps réel pouvant s'adapter aux signaux émotionnels de l'interlocuteur.

Exemples de grands modèles de langage (novembre 2024) en France et à l'international

| Nom du modèle | Entité | Année de création | Origine géographique | Lien |
|----------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|---|
| BLOOM Projet BigScience | Hugging Face | 2022 | France/ États-Unis | https://huggingface.co/bigscience/bloom |
| ChatGPT GPT-4o | Open AI | 2024 | États-Unis | https://chatgpt.com/ |
| Claude 3 | Anthropic | 2024 | États-Unis | https://claude.ai/ |
| Gemini | Google | 2023 | États-Unis | https://gemini.google.com/app |
| Le Chat | Mistral | 2024 | France | https://chat.mistral.ai/chat |
| Llama 2 | Meta | 2024 | États-Unis | https://www.llama.com/ |
| Moshi | Kyutai | 2024 | France | https://moshi-ai.com/fr |
| Perplexity | Perplexity | 2022 | États-Unis | https://www.perplexity.ai/ |

Les critères open source selon l'OSI des modèles de fondation récents

| Modèle | Licence | Accès aux poids du modèle | Redistribution et modification libres | Aucune restriction sur les usages commerciaux | Aucune restriction sur les usages non-éthiques | Open source au sens de l'OSI |
|------------------|--|---------------------------|---------------------------------------|---|--|------------------------------|
| BigScience Bloom | Bloom | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Google Gemini | Conditions d'utilisation de l'IA générative Google | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Meta Llama2 | Llama2 | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Microsoft Orca2 | Microsoft Research | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| OpenAI GPT-4 | Conditions d'utilisation OpenAI | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| TII Falcon | Falcon | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Anthropic Claude | Conditions d'utilisation Anthropic | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Mixtral 8x7B | Apache 2.0 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mistral Large | Conditions d'utilisation Mistral | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |

(Pôle d'expertise de la régulation numérique, 2024)

Accéder au « **Comparateur d'ouverture de modèles d'IAG** » :

<https://www.peren.gouv.fr/compare-os-iag/>

L'enjeu de l'alignement des LLM

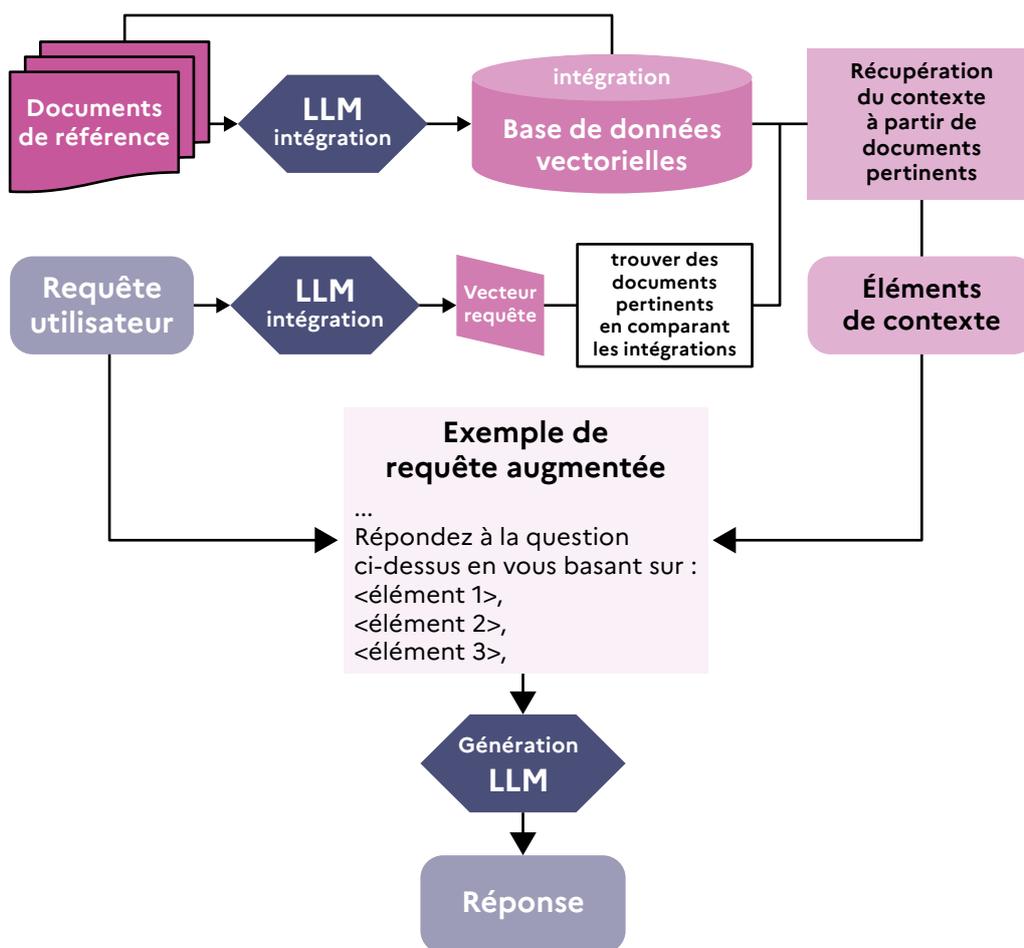
« Au cours des dernières décennies, le **pré-entraînement des LLM par apprentissage auto-supervisé** a connu des avancées significatives. Ces améliorations ont été motivées par le développement de transformateurs décodeurs plus importants, l'utilisation de trillions de jetons et la parallélisation des calculs sur plusieurs GPU. Après la phase de pré-entraînement, le réglage des instructions a été utilisé pour guider les LLM dans leur réponse aux requêtes humaines. Malgré ces avancées, un problème critique reste en suspens : **les LLM peuvent générer des réponses indésirables**, telles que des instructions sur la manière de commettre des activités illégales. Pour atténuer ce risque, il est essentiel d'**aligner les LLM sur les valeurs humaines**. **L'apprentissage par renforcement à partir du feedback humain (RLHF)** est apparu comme une technique révolutionnaire pour aligner les MLD. Cette approche a conduit au développement de modèles puissants tels que GPT-4, Claude et Gemini. »

(Wang *et al.*, 2024)

Le RAG (Retrieval-Augmented Generation/génération augmentée de récupération)

« Un problème courant [des LLM] est la **génération d'informations incorrectes, ou « hallucinations »** [Zhang et al., 2023b], en particulier lorsque les requêtes dépassent les données d'apprentissage du modèle ou nécessitent des informations actualisées. Ces défauts soulignent l'impossibilité de déployer les LLM en tant que solutions de **boîte noire** dans des environnements de production réels sans garanties supplémentaires. Une approche prometteuse pour atténuer ces limitations est la **génération améliorée par récupération (RAG)**, qui intègre la **récupération de données externes dans le processus génératif**, améliorant ainsi la capacité du modèle à fournir des réponses précises et pertinentes. La RAG, introduite par Lewis et al. [Lewis et al., 2020] à la mi-2020, représente un paradigme dans le domaine des LLM, améliorant les tâches génératives. Plus précisément, le RAG implique une étape de recherche initiale au cours de laquelle **les LLM interrogent une source de données externe pour obtenir des informations pertinentes** avant de répondre à des questions ou de générer du texte. Ce processus permet non seulement d'informer la phase de génération suivante, mais aussi de s'assurer que les réponses sont fondées sur les preuves récupérées, améliorant ainsi de manière significative la précision et la pertinence du résultat. »

(Gao et al., 2024)



Source : https://en.wikipedia.org/wiki/Retrieval-augmented_generation Turtlecrown, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons

Un LLM français et un commun numérique pour l'éducation : OpenLLM France et le projet LUCIE

Le consortium «OpenLLM France» fait partie des lauréats de l'**appel à projet «Communs Numériques pour l'IA Générative» porté par BPIFrance (banque publique d'investissement) dans le cadre du plan France 2030.** «Le Consortium OpenLLM France réunit 17 acteurs qui se sont rassemblés dans le prolongement de la création de la communauté OpenLLM France qui fédère à ce jour un **écosystème de près de 200 entités** (laboratoires publics de recherche, fournisseurs potentiels de données, acteurs technologiques spécialisés, fournisseurs de cas d'usage...).»

Le consortium a développé **LUCIE** «premier modèle LLM souverain réellement Open Source avec un 1^{er} cas d'usage privilégié pour l'éducation».

OpenLLM-France

Une famille de LLM multimodaux ouverts, sobres et performants, pour offrir transparence et contrôle

| | | | |
|---|--|---|---|
|  FIABILITÉ & SÉCURITÉ Des LLM pré-entraînés sur des données propres, connectés aux bases de connaissances sûres, qui peuvent être auto-hébergés. |  OPEN SOURCE & SOUVERAINETÉ Architecture des modèles, données d'apprentissage et poids auditable. Prêts à l'évaluation et à la certification. |  PERFORMANCE & MULTIMODALITÉ Support de la voix. Optimisations en vue d'obtenir les meilleures performances sur des benchmarks adaptés. |  EFFICACITÉ Des LLM écoresponsables, tous inférieurs à 15B de paramètres, capables d'effectuer des tâches spécialisées avancées. |
| Collecter des données « propres » en français. Permettre l'injection de connaissances métier sûres pour fiabiliser les réponses générées. | S'assurer de la validité éthique et réglementaire (droit d'auteur, RGPD, IA Act) des modèles. | Caractériser et populariser une méthodologie et des benchmarks adaptés au contexte applicatif industriel, sensible et francophone. | Réduction des coûts d'entraînement et d'indifférence. Limitation des impacts sur l'environnement. |

Source : <https://www.openllm-france.fr/>

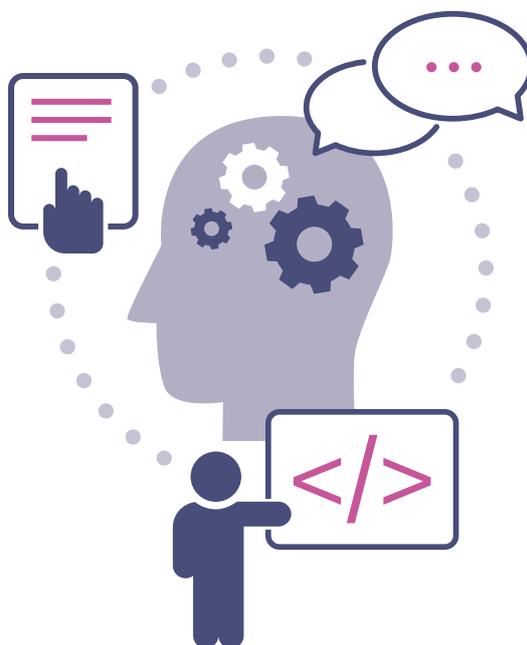
Accès au modèle Lucie : <https://huggingface.co/spaces/Tonic/Lucie-7B>

6.3 Perspectives pour l'enseignement/ apprentissage et la formation

Quelles potentialités pédagogiques ?

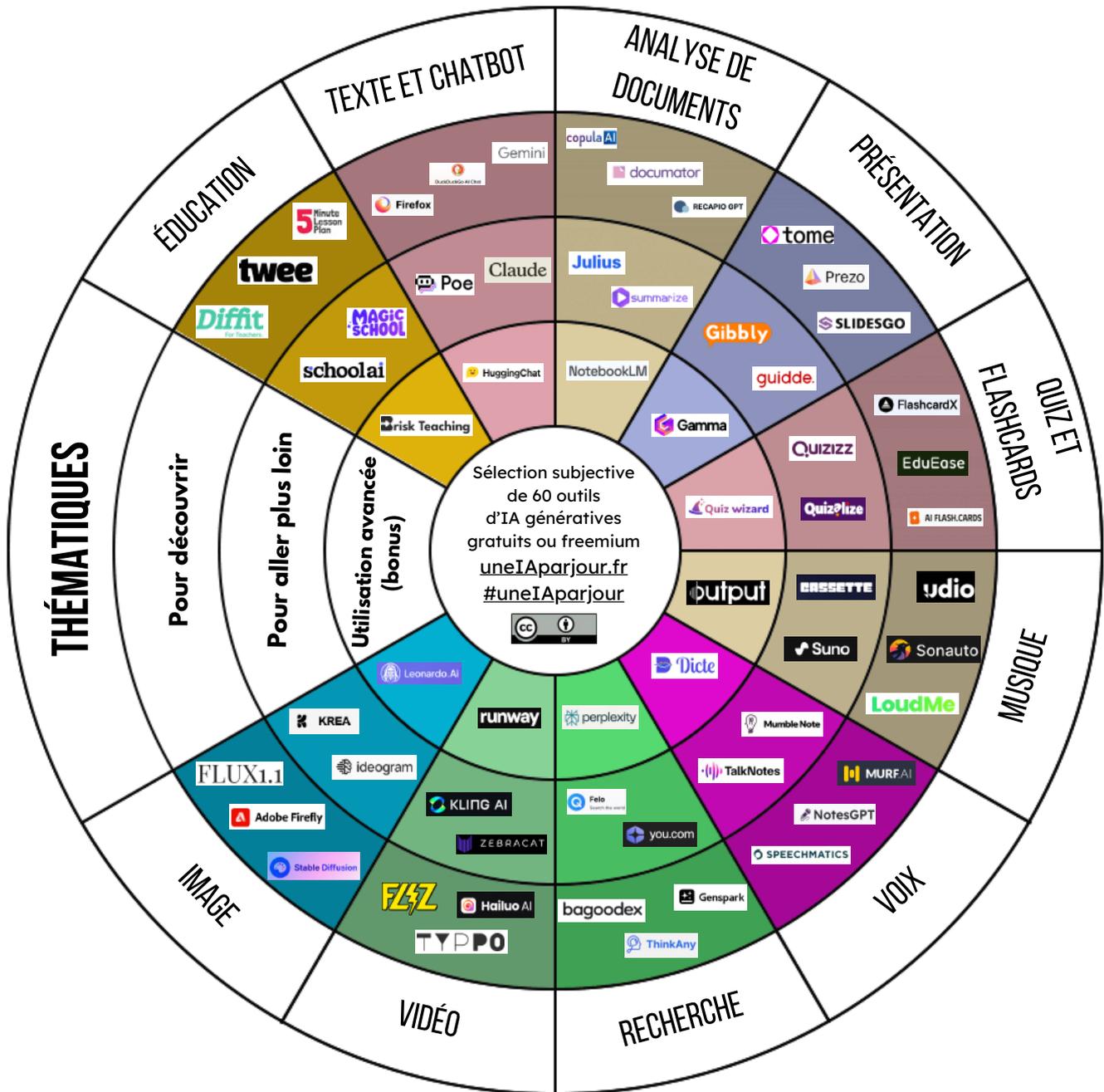
Ce type d'application offre plusieurs potentialités pédagogiques très activement explorées et partagées actuellement par la communauté des enseignants :

- une **assistance à l'ingénierie pédagogique** (conception de séquences d'enseignement et d'apprentissage, voir proposition de matrice ci-dessous);
- un **soutien à la créativité** en proposant, à partir des requêtes et questions posées, une première base de rédaction ou de code;
- un **soutien à l'apprentissage du français et des langues étrangères** par la fonction de suivi conversationnel;
- une **assistance** pour amorcer ou optimiser une tâche rédactionnelle;
- un **nouveau défi pour l'éducation aux médias et à l'information (EMI)** et un cadre pour la **formation à l'esprit critique**, qui nécessite de la part des enseignants et de leurs élèves de vérifier systématiquement le contenu et la pertinence des réponses fournies.



La veille sur l'IA et l'éducation : le site « Une IA par jour »

<https://www.uneiaparjour.fr/>



(Formet, 2023)

Prompting et ingénierie pédagogique : exemple de matrice pour une fiche d'instruction

| Information | Situation pédagogique | Champ à compléter |
|---|---|-------------------|
| Identité Contexte Discipline / domaine d'apprentissage | Je suis professeur de [...] dans [tel type d'établissement]. | |
| Cadre d'action Contraintes Difficultés | L'établissement ou les élèves a/ont [tel profil], doivent faire face à [telle difficulté]. | |
| Finalités Objectifs Public cible / niveau Actions visées | J'enseigne à des élèves de [tel niveau, tel âge] – je souhaite les faire progresser ou leur enseigner [telle thématique, tel point du programme, telle compétence]. | |
| Question Demande | Je souhaite construire [telle séquence], produire [telle ressource, telle situation d'apprentissage] pour/avec mes élèves. | |
| Style Format Mots-clés Étapes | Je souhaite la réponse sous forme de [liste/tableau...], pour produire un visuel, un schéma, dans un langage adapté à [tel niveau], en utilisant les mots-clés suivants : ... <i>Compléter éventuellement par un exemple de la production attendue.</i> <i>Au besoin détailler les étapes à suivre pour améliorer le résultat (prompting par « chaîne de pensée »).</i> | |

(Allouche, 2023b)

Les perspectives des grands modèles de langage pour les personnes handicapées

« Afin d'autonomiser les apprenants handicapés, [ils] peuvent être utilisés en combinaison avec des solutions de conversion de la parole en texte ou du texte en parole pour aider les personnes souffrant de déficience visuelle. En combinaison avec les possibilités de tutorat en groupe et à distance mentionnées précédemment, les modèles de langage peuvent être utilisés **pour développer des stratégies d'apprentissage inclusives** avec un soutien adéquat dans des tâches telles que l'écriture adaptative, la traduction et la mise en évidence de contenus importants dans différents formats. Cependant, il est important de noter que l'utilisation de grands modèles de langage **doit être accompagnée de l'aide de professionnels** tels que des orthophonistes, des éducateurs et d'autres spécialistes qui peuvent adapter la technologie aux besoins spécifiques des handicaps de l'apprenant. » [Traduction]

(Kasneci et al., 2023)

Taxonomie de Bloom revisitée

« Utilisez ce tableau comme référence pour évaluer et envisager des modifications pour aligner les activités pédagogiques (ou, lorsque cela est possible, les objectifs d'apprentissage) qui mettent en valeur les compétences humaines distinctives et/ou intègrent des outils d'intelligence artificielle générative (IA Gen) en complément du processus d'apprentissage.

Toutes les activités et évaluations de cours bénéficieront d'une révision continue, étant donné les capacités en évolution des outils d'IA Gen. »

| | Compétences humaines distinctives | Comment GenAI peut compléter l'apprentissage* |
|-------------------|--|---|
| CRÉER | Participer à des processus créatifs et cognitifs qui exploitent les expériences humaines vécues, les interactions socio-émotionnelles, l'intuition, la réflexion et le jugement pour formuler des solutions originales | Soutenir les processus de <i>brainstorming</i> ; suggérer une gamme d'alternatives; énumérer les inconvénients et les avantages potentiels; décrire des cas concrets réussis; créer un livrable tangible basé sur des apports humains |
| ÉVALUER | S'engager dans une réflexion métacognitive; évaluer de manière holistique les conséquences éthiques d'autres plans d'action; identifier l'importance ou situer dans un contexte historique ou disciplinaire complet | Identifier les avantages et les inconvénients de divers plans d'action; élaborer et vérifier les grilles d'évaluation |
| ANALYSER | Penser et raisonner de manière critique dans les domaines cognitif et affectif; justifier l'analyse en profondeur et avec clarté | Comparer et contraster les données, déduire des tendances et des thèmes dans un contexte étroitement défini; calculer; prédire; interpréter et relier aux problèmes, décisions et choix du monde réel |
| APPLIQUER | Exploiter, mettre en œuvre, conduire, exécuter, expérimenter et tester dans le monde réel; appliquer la créativité et l'imagination humaine au développement d'idées et de solutions | Utiliser un processus, un modèle ou une méthode pour résoudre une enquête quantitative ou qualitative; aider les élèves à déterminer où ils se sont trompés lors de la résolution d'un problème |
| COMPRENDRE | Contextualiser les réponses dans des considérations émotionnelles, morales ou éthique; sélectionner les informations pertinentes expliquer leur signification | Décrire avec précision un concept avec des mots différents; reconnaître un exemple connexe; traduire dans une autre langue |
| MÉMORISER | Rappeler des informations dans des situations où la technologie n'est pas facilement accessible | Récupérer des Informations factuelles; énumérer des réponses possibles; définir un terme; construire une chronologie |

*Capacité d'IA dérivées en référence à une analyse du cadre MAGE, basée sur ChatGPT 4 en date d'octobre 2023. Voir Zaphir, L., Lodge, JM, Lisee, J., McGrath, D., & Khosravi, H. (2024). Dans quelle mesure une IA peut-elle penser de manière critique? Un cadre pour évaluer la qualité de la pensée de l'intelligence artificielle générative. Préimpression arXiv arXiv:2406.14769.

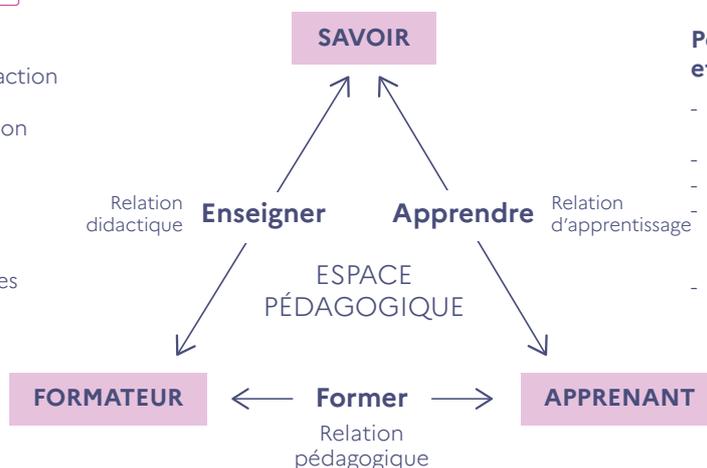
(Oregon State University, 2024) [Traduction]

Une question de recherche ouverte : Où intervient l'IA générative dans le triangle didactique? (J. Houssaye)



Pôle du «savoir» :

- production et/ou extraction de connaissances
- vérification/distanciation critique
- EMI et formation à l'esprit critique
- appui à la recherche scientifique
- traitement des données et corpus
- enjeux disciplinaires et interdisciplinaires...



Pôles «formateur» et «apprenant» :

- assistance à l'ingénierie pédagogique
- modalités d'évaluation
- littératie/éducation à l'IA
- échanges de pratiques avec les élèves/entre pairs
- adaptation et personnalisation des parcours d'apprentissage

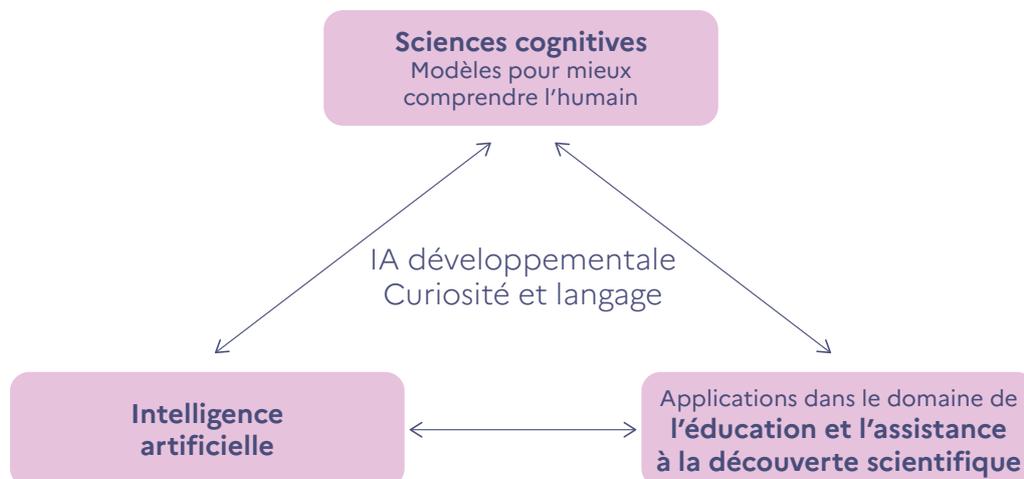
Source : Florent Dal Pos (EGLEFOR) CC BY-SA 4.0 (IID - Institut intelligence et données, ULaval, 2024) complété par (DNE-TN2, 2024)

Agents conversationnels, curiosité et métacognition

« La **curiosité épistémique (CE)**, i.e. le désir d'explorer une information pour le plaisir qu'elle procure, est un phénomène étudié dans divers domaines. Plusieurs chercheurs ont souligné son rôle fondamental dans le développement cognitif et la promotion d'un apprentissage continu. De plus, la CE est considérée comme **clé pour cultiver un esprit capable de s'adapter aux incertitudes du monde**. Ces recherches ont suscité un grand intérêt pour la CE en éducation, la considérant essentielle pour permettre aux individus d'être actifs et maîtres de leur apprentissage. Ce sont des propriétés cruciales pour relever certains des défis éducatifs : offrir aux élèves un soutien adapté à leurs compétences et motivations, et les aider à être des apprenants autonomes et indépendants dans des environnements dynamiques et incertains. »

(Abdelghani, 2024)

IA curiosité et éducation



D'après (Pierre-Yves Oudeyer, 2024)

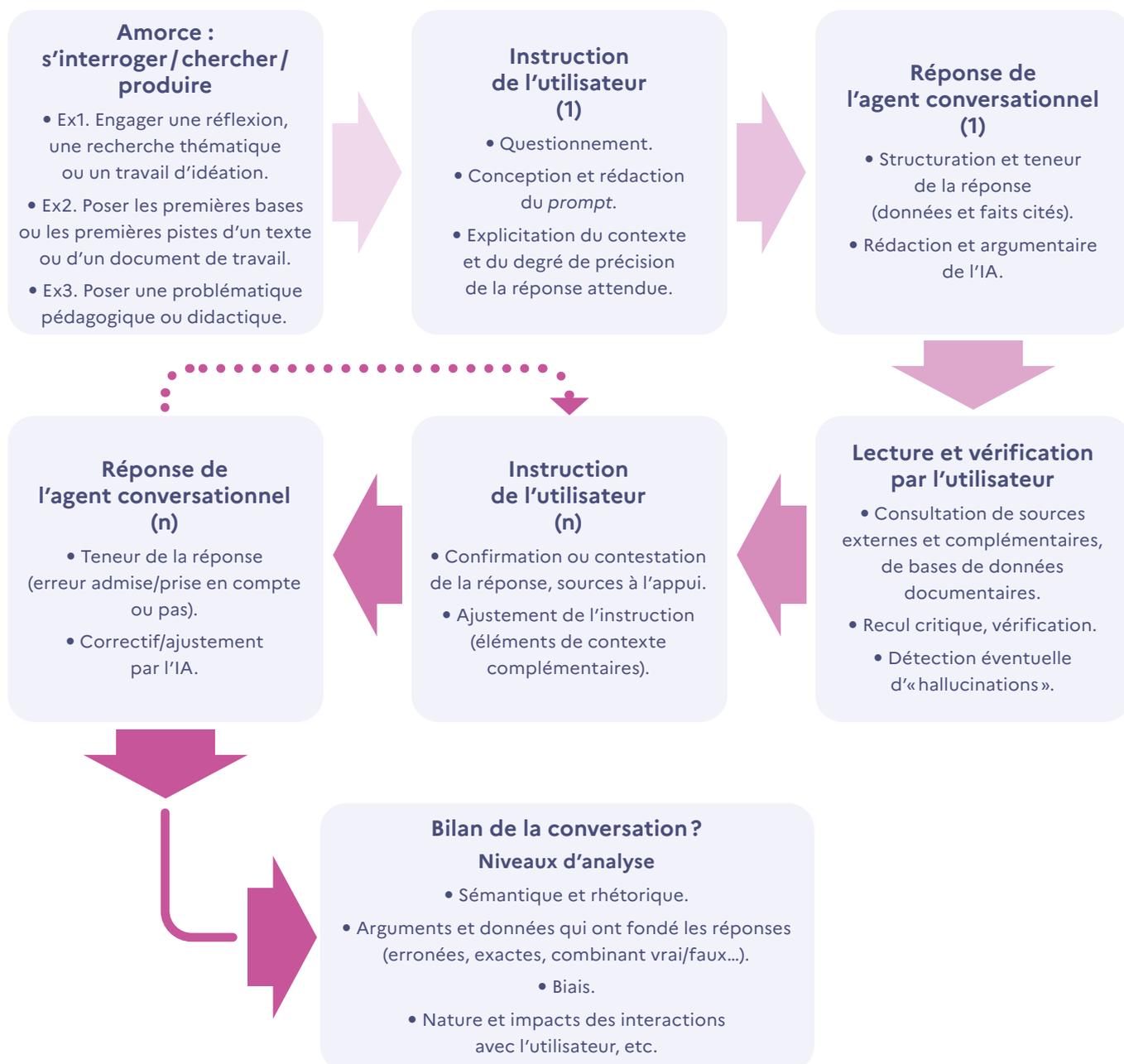
« La capacité des élèves à poser des questions curieuses est une compétence cruciale qui améliore leurs processus d'apprentissage. Pour former cette compétence, **des recherches antérieures ont utilisé un agent conversationnel qui propose des indices spécifiques pour stimuler la curiosité des enfants** pendant l'apprentissage. Malgré son efficacité pédagogique, cette méthode reste limitée puisqu'elle repose sur la génération manuelle de ces messages pour chaque ressource éducative, ce qui peut s'avérer un processus très long et coûteux. Dans ce contexte, **nous nous appuyons sur les progrès réalisés dans le domaine du traitement du langage naturel et explorons l'utilisation d'un grand modèle de langage (GPT-3) pour automatiser la génération des indices de curiosité** de cet agent afin d'aider les enfants à poser des questions plus nombreuses et plus approfondies. Nous avons ensuite utilisé cette étude pour étudier un autre comportement d'incitation à la curiosité pour l'agent. L'étude a été menée auprès de 75 élèves âgés de 9 à 10 ans. Ils ont interagi soit avec un agent conversationnel conçu à la main qui propose des indices "fermés" extraits manuellement et menant à des questions prédéfinies, soit avec un agent piloté par GPT-3 qui propose le même type d'indices, soit avec un agent piloté par GPT-3 qui propose des indices "ouverts" pouvant mener à plusieurs questions possibles. Les résultats ont montré une performance similaire en matière de questions entre les enfants qui avaient les deux agents "fermés", mais une performance significativement meilleure pour les participants avec l'agent "ouvert". Nos premiers résultats suggèrent **la validité de l'utilisation du GPT-3 pour faciliter la mise en œuvre de technologies d'apprentissage stimulant la curiosité**. Dans un deuxième temps, nous montrons également que le GPT-3 peut être efficace pour proposer des indices ouverts pertinents qui laissent aux enfants plus d'autonomie pour exprimer leur curiosité. »

(Abdelghani et al., 2023)

Quels limites et points de vigilance (dimensions éthiques, pédagogiques et scientifiques) ?

Plusieurs tests ont été réalisés pour évaluer les performances et limites de ChatGPT (GPT-3.5) (Allouche, 2023a). Le schéma ci-dessous propose une **modélisation de parcours utilisateur critique**, intégrant des consignes qui peuvent être simples ou complexes, allant d'une simple demande d'information à une problématisation.

Modélisation de parcours utilisateur critique avec un agent conversationnel



(Allouche, 2023a) mis à jour

À l'issue de ces tests, plusieurs limites et points de vigilance peuvent être relevés (sachant que dans le cadre du **RGPD**, l'application n'est pas utilisable dans un cadre scolaire, seules sont possibles des utilisations à titre individuel, sous le régime du contrat privé) :

- pour l'instant les réponses fournies ne sont **pas basées sur des données en temps réel** via une connexion au web (sous réserve de vérification, il s'agit des données issues du web, antérieures à 2022);
- elles contiennent des **biais** en raison de la nature des données traitées, même si des filtres sont appliqués pour limiter les biais les plus flagrants;
- les **erreurs factuelles** et possibles « hallucinations » nécessitent quasi systématiquement une vérification des contenus par l'utilisateur, ce qui peut constituer à la fois une limite et un atout dans un cadre pédagogique pour développer l'esprit critique et établir une distance avec les contenus générés;
- le risque de produire et de diffuser des infox ou des informations tronquées, erronées ou non vérifiables;
- une telle technologie, en raison même de ses performances et de la masse des données traitées (sans transparence sur la nature de celles-ci), soulève inévitablement les questions du référencement (peut-on se référer aux réponses produites alors qu'elles ne sont pas systématiquement sourcées ni reproductibles ?), de la paternité des contenus (à qui appartiennent-ils, peut-on attribuer la paternité d'une œuvre à une IA ?) (Stokel-Walker, 2023) ou du **droit d'auteur** (les réponses générées à partir de ces données massives respectent-elles le droit d'auteur lorsque celui-ci s'applique ? par exemple sur une œuvre scientifique ou littéraire qui n'est pas sous licence libre);
- **l'absence de sources** – ou le caractère possiblement erroné de celles qui sont citées – constitue une véritable difficulté pour une utilisation dans un cadre académique (éducation, recherche, documentation), sauf si l'utilisateur en fait la demande expresse, et sous réserve que celui-ci vérifie une à une les références citées;
- « jusqu'en 2023 les réponses fournies n'étaient pas basées sur des données en temps réel via une connexion au web ; à présent, même si les données d'entraînement remontent à l'année n-1, **la requête peut demander une extraction ou une vérification d'informations en temps réel sur le web**, ou via l'implémentation d'un document par l'utilisateur ; »

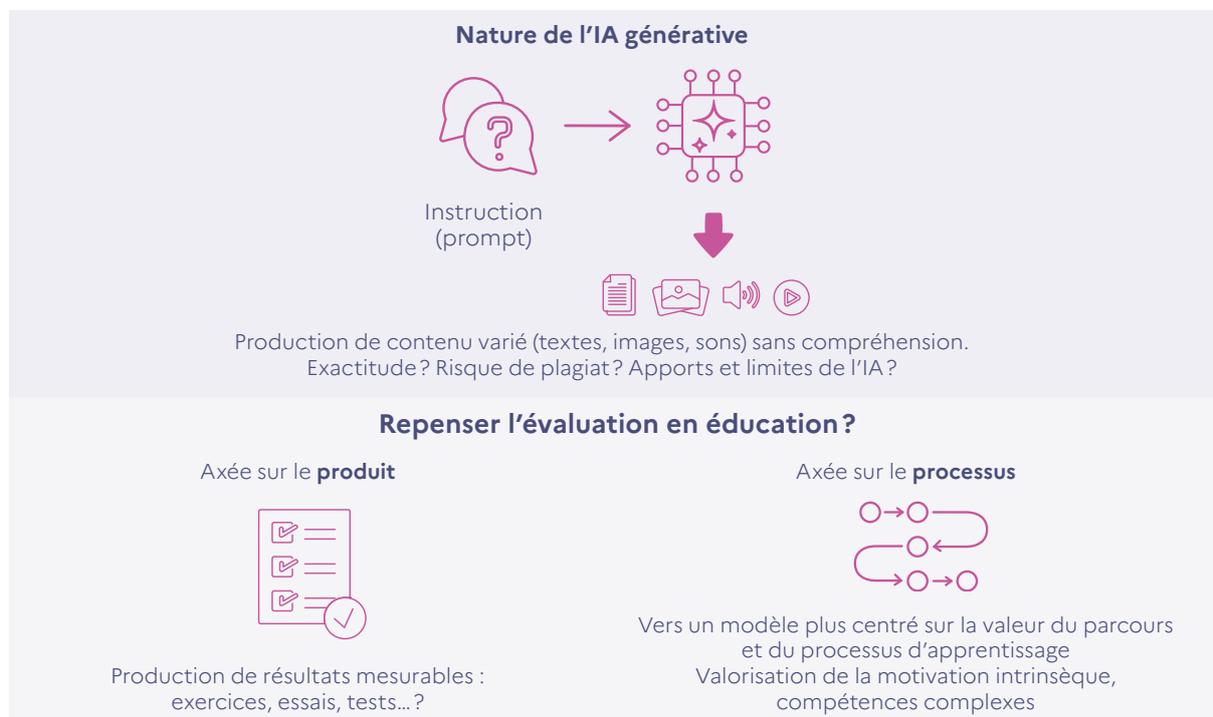
En réponse à ce problème, d'autres applications complémentaires ou concurrentes, comme l'assistant IA Copilot de Microsoft (intégrant GPT-4) ou Perplexity (<https://www.perplexity.ai/>), proposent de fournir des sources (mais sans garantir pour autant la pertinence ou la complétude de celles-ci).

On peut noter aussi l'**impact environnemental** de ce type de modèle, non spécifique à ChatGPT :

« On estime que l'entraînement du modèle GPT-3 d'OpenAI a nécessité autant d'énergie que le voyage aller-retour d'une voiture sur la lune, générant ainsi l'équivalent de 85 000 kg d'émissions de CO₂ (Quach, 2020). Il est désormais largement admis que la consommation d'énergie constitue un défi majeur pour l'IA axée sur les données (Strubell et al., 2019). » (Holmes & Tuomi, 2022) traduction par (Bocquet, 2023)

En résumé, les principales pistes à explorer relèvent surtout de l'assistance (voir exemples p. 39 et 41), de l'inspiration, du complément ou de l'approfondissement. En effet, un tel saut technologique invite surtout les chercheurs et les pédagogues à, davantage encore, innover, collaborer, s'informer et se former, **mettre à distance et faire preuve d'esprit critique** pour accompagner les élèves et les étudiants dans leur apprentissage et leur formation.

Une publication majeure sur l'évolution des modalités d'évaluation avec l'IA générative (Cao & Dede, 2023) Harvard



« Une éducation fortement axée sur les produits réduit l'apprentissage à une transaction, l'échange d'un produit contre une note, au lieu d'offrir une expérience humaine transformatrice. (...) Si le système éducatif est principalement basé sur la motivation extrinsèque, le plagiat sera endémique. **Les éducateurs peuvent encourager les apprenants à tirer parti de l'IA générative pour améliorer leur processus d'apprentissage, en mettant l'accent sur la valeur du parcours plutôt que sur le seul produit final.** »

(DNE-TN2, 2024) d'après (Cao & Dede, 2023)

Risques et potentiels liés aux cinq enjeux d'évaluation des IA génératives en éducation

| | Caractéristiques des IA génératives | Risques encourus | Potentiel éducatif en évaluation |
|-------------------------------|---|--|--|
| Enjeu de compréhension | Systèmes d'IA très complexes dans leur fonctionnement | Négliger l'étude du fonctionnement des IA génératives | Comprendre les prédictions statistiques et l'influence des données moissonnées |
| Enjeu de simulation | Agissement sur la forme donnant une illusion de fiabilité sur le fond | Ne pas déceler les illusions anthropogénétiques | Développer l'étude des illusions produisant un effet de halo |
| Enjeu de véridiction | Erreurs et hallucinations propres aux IA génératives | Se laisser abuser par les fausses informations | Déjouer la désinformation en variant les sources pour la détecter |
| Enjeu éthique | Dérive en matière d'automatisation aux dépens de la réflexion | Céder à la facilité pour obtenir des résultats sans effort | Se contraindre à respecter le processus formatif |
| Enjeu d'application | Tendance à techniciser l'évaluation au sens du contrôle | Ne pas ou mal intégrer ces IA dans les enseignements | Développer une évaluation formative grâce aux IA |

« Les productions des IA génératives **concernent autant les élèves que les professeurs ou le citoyen ordinaire**. Le développement des technologies ne cessera pas de viser des **résultats de plus en plus spectaculaires** pour agir sur la fibre émotionnelle et pour marquer les esprits (imitation de la voix humaine, résolution de problèmes, exploitation des données personnelles que chacun fournit gracieusement et sans forcément en être conscient aux géants de la technologie). En ce sens, si les IA génératives offrent la **perspective d'un défi contemporain d'évaluation**, il semble que seules **l'éducation et la formation des citoyens** plus et moins jeunes permettront de relever. »

(Audran, 2024)

Quelles perspectives pour l'esthétique et la création ?

« *Le paradigme de l'empreinte et de la trace* a accompagné l'ensemble de l'histoire de la photographie de son invention à l'arrivée des images numériques. La photographie numérique remet en question la notion d'*empreinte*. Lors de son avènement, l'image photographique n'est plus une image argentique relevant d'une empreinte photochimique sur une pellicule photosensible. On s'interroge alors sur le référent de l'image numérique. Cette question du référent photographique doit être mise en perspective avec l'avènement des IA. **Avec l'intelligence artificielle, il n'y a plus un seul référent mais un ensemble de couches de référentialité**. La référence primaire, sur laquelle repose la génération d'image par l'IA, est composée d'images numériques captées de la réalité. La référence secondaire se situe dans l'espace latent que l'algorithme a produit sur la base d'une ontologie des images dites primaires. **L'image créée par l'IA est donc la résultante de cette série de référents multiples qu'il est très difficile de parvenir à retracer**. Ce travail de référenciation et de décomposition des sources de l'image numérique a été entrepris dans l'**académie de Toulouse** au cycle 4. Ainsi, la séquence pédagogique **Les coulisses de ton image** (<https://edubase.eduscol.education.fr/fiche/19817>) développée dans le cadre des **travaux académiques mutualisés en arts plastiques** (TraAM), propose aux élèves de solliciter le numérique comme médium de fabrication d'une image mais également comme outil pouvant capter les traces et expliciter les étapes du **processus créatif d'une image numérique hybride**. Dans ce dispositif pédagogique, le médium numérique est donc un élément qui nous permet de penser la question du référent dans les nouveaux systèmes numériques génératifs d'images. L'image générée par l'intelligence artificielle n'est donc plus une image pensée comme la trace photosensible de la réalité mais comme une image possible. »

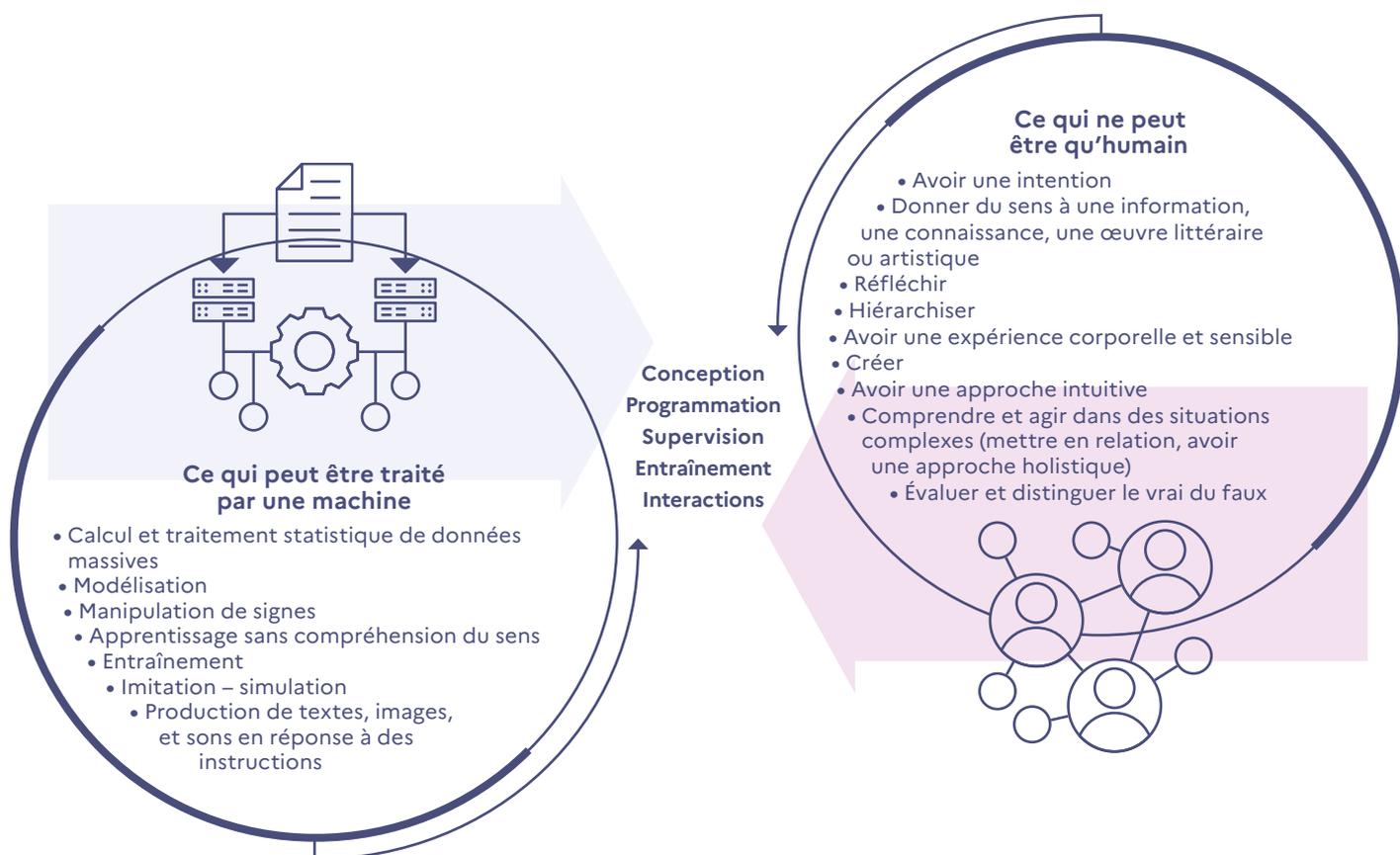
(Ministère de l'éducation nationale, 2024)



Conclusion : repères et éléments de prospective

Ce qui peut relever ou pas d'une IA

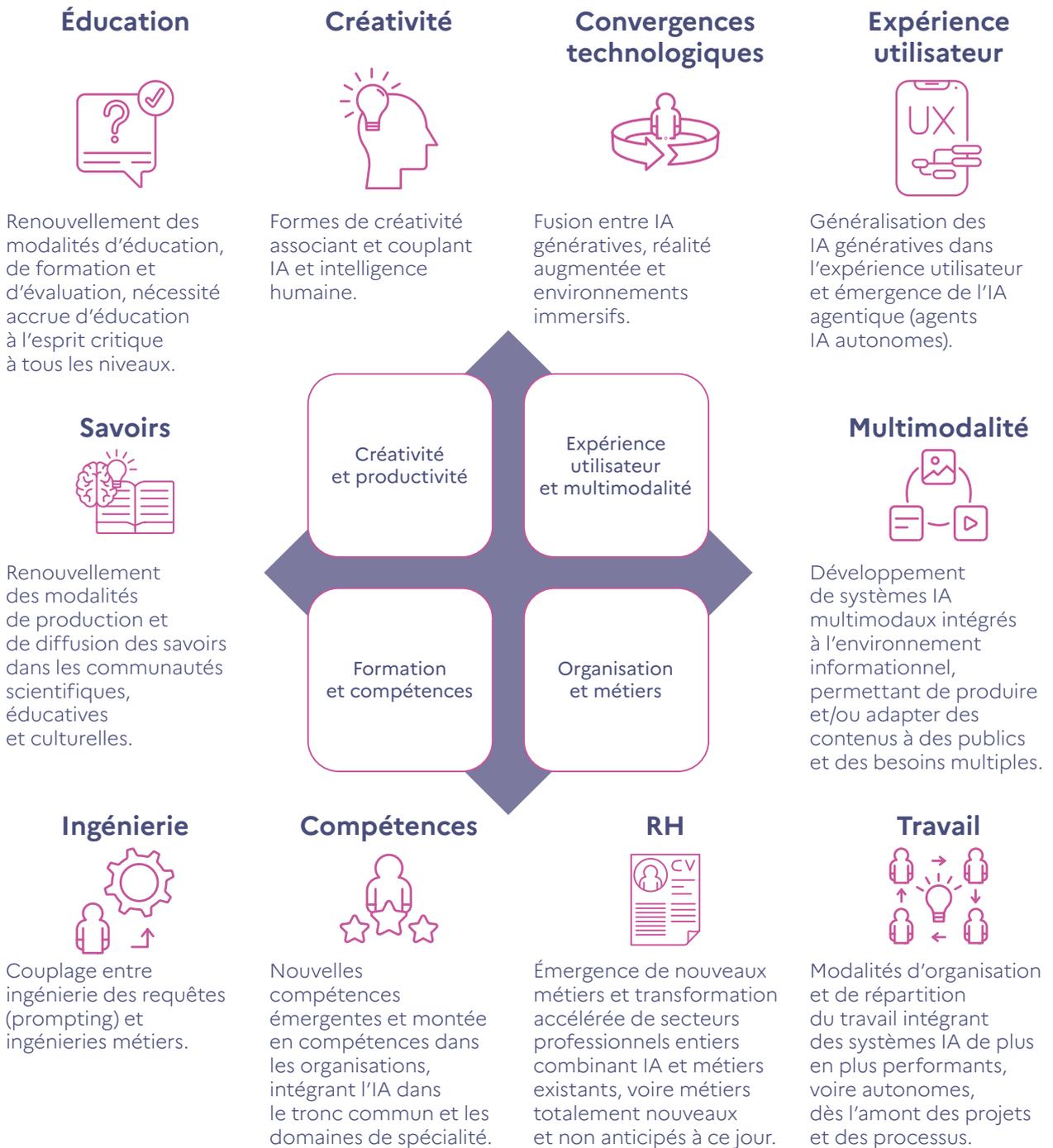
Comme le suggère le schéma ci-dessous, parmi les défis à relever figure la **distinction à établir avec les élèves entre ce qui relève exclusivement de l'humain** : donner du sens à une information, une connaissance, une œuvre littéraire ou artistique, **et ce qui peut effectivement être confié à une IA** : le traitement et le calcul de données massives, au-delà des capacités humaines, à des fins de prédiction, de probabilité ou d'optimisation, mais sans intention ni compréhension de ce qui est produit.



(DNE-TN2, 2023)

Éléments de prospective

IA générative, éducation et société : quelles tendances émergentes à 3-5 ans?



Elie Allouche DNE-TN2 (2024)

Modélisation systémique du numérique en éducation et perspectives sur l'IA générative

| Modélisation systémique : unités d'action | Tendances émergentes liées à l'IA générative |
|--|---|
| 1. Mutation de l'environnement informationnel | Développement de systèmes IA multimodaux intégrés à l'environnement informationnel, permettant de produire et/ou d'adapter des contenus à des publics et des besoins multiples. Renouvellement des modalités d'éducation, de formation et d'évaluation, nécessité accrue d'éducation à l'esprit critique à tous les niveaux. Défi pour l'éducation aux médias et à l'information. |
| 2. Instrumentation des pratiques | Généralisation des IA génératives dans l'expérience utilisateur des principales suites bureautiques, applications, plateformes et réseaux sociaux. |
| 3. Évolution des compétences et modalités de formation | Nouvelles compétences émergentes et montée en compétences dans les organisations intégrant l'IA dans le tronc commun et les domaines de spécialité. Couplage entre ingénierie des instructions/requêtes (prompting) et ingénieries métiers. |
| 4. Transformation des espaces et des organisations | Fusion entre IA génératives, réalité augmentée et environnements immersifs. |
| 5. Mise en réseau des praticiens | Modalités d'organisation et de répartition du travail intégrant des systèmes IA de plus en plus performants, voire autonomes, dès l'amont des projets et les processus. |
| 6. Mise en données numériques des savoirs | Croisement des littératies (numérique/informationnelle, des données, en IA). |

(Allouche, 2024)

Vers des agents IA autonomes? L'IA agentique

« L'agentivité désigne la capacité des intelligences artificielles à réaliser des **actions plus ou moins autonomes** pour remplir des objectifs. Une IA capable de réaliser de telles tâches en autonomie est appelée "agent". Cette agentivité, plutôt qu'une caractéristique binaire que les modèles auraient ou n'auraient pas, désigne plutôt un degré supérieur d'autonomie dont seraient dotées les applications et qui permettrait de les qualifier d'agents. Le psychologue Daniel Kahneman distingue deux modes de pensée que le cerveau utilise, l'un pour traiter les informations, l'autre pour prendre des décisions, le système 1 et le système 2 : l'enjeu de l'agentivité est de faire passer l'IA de la première phase à la deuxième. **Les IA, de LLM, devraient devenir des LAM ou Large Action Models.**

Yann LeCun, responsable de l'IA chez Meta, rencontré par vos rapporteurs dans les locaux de l'Université de New York où il est professeur, considère l'agentivité comme **l'un des principaux vecteurs de développement de l'intelligence artificielle**. Il croit, en effet, que la scalabilité (capacité à monter à l'échelle) des modèles d'IA basés sur la technologie Transformer rencontrera une barrière qui ne pourra être surmontée qu'en développant de nouvelles technologies qui permettront aux systèmes d'être davantage agentiques. Il parle à cet égard de modèles d'intelligence artificielle guidés

par leurs objectifs, appelés ODAI, de l'anglais "Objective-Driven AI". Les déclarations d'OpenAI en novembre 2024 vont aussi dans ce sens : les IA permettant l'exécution de tâches autonomes seront probablement la **prochaine percée en intelligence artificielle.**»

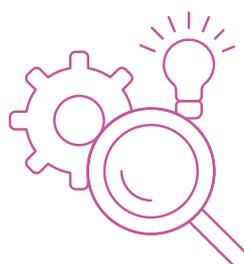
(Sabatou et al., 2024).

IA, éducation et recherche appliquée

Proposition de quelques pistes de travail à explorer en 2025 et à stabiliser d'ici à 2030

1. Vers un renouvellement des fondements et de l'organisation de l'éducation (sens et finalités, articulation entre pensée et langage, distinctions et complémentarités humain/machine, etc.)?
2. Vers quelles spécificités de la transformation numérique de l'éducation en période d'accélération et d'innovation (pilotage et gouvernance, organisation des écosystèmes d'innovation, articulations entre accélération technologique globale, approche systémique et innovations locales, entre recherche appliquée et communautés de pratique, etc.)?
3. Quelles modalités d'appropriation éthique et responsable, individuelle et collective (établissements, communautés de pratique), de l'IA en éducation ?
4. Quelle place de l'IA et quelles évolutions dans le triangle didactique et pédagogique (ingénierie/conception pédagogique, interactions enseignants-IA-apprenants, renouvellement des modalités d'apprentissage et d'évaluation, etc.)?
5. Quelles place de la littératie de l'IA dans les parcours scolaires, universitaires et formatifs ?
6. Quelles évolutions de la formation (initiale et continue) des enseignants et des personnels d'encadrement ?
7. Quels complémentarité, croisement et hybridation entre compétences disciplinaires et littératie de l'IA ?
8. Comment accompagner, former et préparer aux défis croissants en matière d'éducation aux médias et à l'information et de formation de l'esprit critique ?
9. Quels modèles de langage spécifiques pour l'enseignement et l'apprentissage (disciplinaire, inter- et transdisciplinaire) ?
10. Quels types et modalités de collaboration pour la conception et co-conception des modèles d'IA en éducation ?
11. Quelles modalités pour le développement de services d'IA accessibles et inclusifs dans les parcours scolaires, en particulier pour les élèves à besoins éducatifs particuliers ?
12. Quelle place pour des agents IA autonomes et quelle nouvelle agentivité pour les acteurs de l'éducation dans les processus éducatifs, pédagogiques et formatifs ?

(DNE-TN2, 2025)



Références

- Abdelghani, R. (2024). Guider les esprits de demain : Agents Conversationnels pour Entraîner la Curiosité et la Métacognition chez les Jeunes Apprenants [Thèse, Université de Bordeaux]. <https://theses.hal.science/tel-04697786>
- Abdelghani, R., Wang, Y.-H., Yuan, X., Wang, T., Lucas, P., Sauzéon, H., & Oudeyer, P.-Y. (2023). GPT-3-driven pedagogical agents for training children's curious question-asking skills. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00340-7>
- Allouche, E. (2023a, janvier 5). Sens et finalités du numérique en éducation – Hors-série : Tests et simulations d'« entretien » avec ChatGPT (Open AI) [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/7635>
- Allouche, E. (2023b, octobre 2). IA génératives et ingénierie pédagogique : Le *prompting*, pistes de travail et applications [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/9934>
- Allouche, E. (2024). Transformation numérique de l'éducation, approche systémique et recherche appliquée. *Médiations et médiatisations*, 17, Article 17. <https://doi.org/10.52358/mm.vi17.392>
- Allouche, E. (2024, septembre 4). IA et éducation : 10 repères [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://doi.org/10.58079/128ve>
- Association for the Advancement of Artificial Intelligence, & Computer Science Teachers Association. (2020). AI4K12. AI4K12. <https://ai4k12.org/>
- Association Française pour l'Intelligence Artificielle (AFIA). (2022, janvier 6). Journée Enseignement et Formation en IA : « IA pour l'enseignement ». *AfIA*. <https://afia.asso.fr/efia-2022/>
- Audran, J. (2024). Cinq enjeux d'évaluation face à l'émergence des IA génératives en éducation : Five Evaluation Challenges in the Face of the Emergence of Generative AI in Education. *Mesure et Évaluation en Éducation*, 47(1), 6-26. <https://edition.uqam.ca/mee/article/view/2609>
- Bengesi, S., El-Sayed, H., Sarker, M. K., Houkpati, Y., Irungu, J., & Oladunni, T. (2023). *Advancements in Generative AI: A Comprehensive Review of GANs, GPT, Autoencoders, Diffusion Model, and Transformers* (arXiv:2311.10242). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.10242>
- Boa Sorte, P., Farias, M. A. de F., dos Santos, A. E., Santos, J. do C. A., & Dias, J. S. dos S. R. (2021). Artificial intelligence in academic writing: What is in store with the GPT-3 algorithm? *Revista EntreLínguas*, 7(00). <https://periodicos.fclar.unesp.br/entrelinguas/article/download/15352/11410/51225>
- Bocquet, F. (2023, janvier 23). État de l'art et de la pratique de l'intelligence artificielle dans l'éducation (Holmes & Tuomi, 2022) [Traduction] [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/8350>
- Boisson, J., & DNE-TN2. (2023, janvier 12). Intelligence artificielle, traitement automatique des langues et agents conversationnels [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/8235>

- Cao, L., & Dede, C. (2023). Navigating A World of Generative AI : Suggestions for Educators. *Harvard Graduate School of Education*. <https://nextlevellab.gse.harvard.edu/2023/07/28/navigating-a-world-of-generative-ai-suggestions-for-educators/>
- Cardon, D., Cointet, J.-P., & Mazieres, A. (2018). La revanche des neurones : L'invention des machines inductives et la controverse de l'intelligence artificielle. *Réseaux*, 5(211). <https://doi.org/10.3917/res.211.0173>
- Cisel, M., & Baron, G.-L. (2019). Vers des intelligences artificielles pour l'enseignement de la démarche d'investigation. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 0, Article 0. <https://doi.org/10.26220/june.2990>
- CNIL. (2024, avril 8). IA : La CNIL publie ses premières recommandations sur le développement des systèmes d'intelligence artificielle. CNIL. <https://www.cnil.fr/fr/ia-la-cnil-publie-ses-premieres-recommandations-sur-le-developpement-des-systemes-dintelligence>
- CNIL. (2024, juillet 12). Entrée en vigueur du règlement européen sur l'IA : Les premières questions-réponses de la CNIL. CNIL. <https://www.cnil.fr/fr/entree-en-vigueur-du-reglement-europeen-sur-lia-les-premieres-questions-reponses-de-la-cnil>
- CNPEN. (2023, juin 30). Avis 7 du CNPEN Systèmes d'intelligence artificielle générative : Enjeux d'éthique. Comité Consultatif National d'Éthique. <https://www.ccne-ethique.fr/fr/publications/avis-7-du-cnpen-systemes-dintelligence-artificielle-generative-enjeux-dethique>
- CNRS. (2022, juillet 12). Livraison du plus grand modèle de langue multilingue « open science » jamais entraîné. CNRS. <https://www.cnrs.fr/fr/livraison-du-plus-grand-modele-de-langue-multilingue-open-science-jamais-entraine>
- Collin, S., & Marceau, E. (2021). L'intelligence artificielle en éducation : Enjeux de justice. *Formation et profession*, 29(2), 1. <https://doi.org/10.18162/fp.2021.a230>
- Commission de l'intelligence artificielle. (2024, mars 13). *Un rapport pour saisir les opportunités de l'intelligence artificielle*. gouvernement.fr. <https://www.gouvernement.fr/actualite/25-recommandations-pour-lia-en-france>
- Conseil de l'Europe. (2023, décembre 9). Législation sur l'intelligence artificielle : Le Conseil et le Parlement parviennent à un accord sur les premières règles au monde en matière d'IA. Conseil européen - Conseil de l'Union européenne. <https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2023/12/09/artificial-intelligence-act-council-and-parliament-strike-a-deal-on-the-first-worldwide-rules-for-ai/>
- Cour des comptes. (2023). *La stratégie nationale de recherche en intelligence artificielle*. Cour des comptes. <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-strategie-nationale-de-recherche-en-intelligence-artificielle>
- CSEN, & DNE-TN2. (2022, novembre 7). Synthèse et recommandations du groupe de travail « Intelligence artificielle et numérique pour l'éducation » du CSEN [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/6707>
- De la Higuera, C., & Bocquet, F. (2020, juillet 9). L'éducation, la formation des enseignants et l'apprentissage de l'intelligence artificielle : Un aperçu des questions clés [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/1973>
- Devillers, L. (2023, février 20). ChatGPT et « intelligences » artificielles : Comment déceler le vrai du faux. *The Conversation*. <http://theconversation.com/chatgpt-et-intelligences-artificielles-comment-deceler-le-vrai-du-faux-200181>

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). *BERT : Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding* (arXiv:1810.04805). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>

Direction du développement de la culture numérique - Sous-ministériat du numérique et de l'information. (2024). L'utilisation pédagogique, éthique et légale de l'intelligence artificielle générative — *Guide destiné au personnel enseignant*. Ministère de l'Éducation - Gouvernement du Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/education/Numerique/Guide-utilisation-pedagogique-ethique-legale-IA-personnel-enseignant.pdf>

Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Y., & European Commission. (2022). *Lignes directrices pour les enseignants et les éducateurs en matière de lutte contre la désinformation et de promotion de l'habileté numérique par l'éducation et la formation*. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a224c235-4843-11ed-92ed-01aa75ed71a1/language-fr>

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

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

DNE-TN2. (2023a, mars 9). Intelligence artificielle et éducation ouverte : Retour sur la journée du GTnum #IA_EO (26/01/23) [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/8605>

DNE-TN2. (2023b, juillet 10). Enseigner et apprendre à l'ère de l'intelligence artificielle : Portfolio du GTnum #Scol_IA [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/9593>

DNE-TN2. (2023c, septembre 6). Intelligence artificielle et éducation ouverte : Portfolio du GTnum #IA_EO [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://edunumrech.hypotheses.org/9781>

DNE-TN2. (2024a, février 14). IA génératives et établissements scolaires du Grand-Est : Présentation du GTnum #IA2GE [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://doi.org/10.58079/vu1d>

DNE-TN2. (2024b, mars 22). Intelligence artificielle générative et grands modèles de langage en éducation : Présentation du GTnum #GenIAL [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://doi.org/10.58079/w2i5>

DNE-TN2. (2024, septembre 16). IA générative et apprentissages : Évaluer la production ou le processus ? (Cao & Dede, 2023) [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://doi.org/10.58079/12b2i>

DNE-TN2. (2024, septembre 23). CREIA – Communauté de Réflexion en Éducation sur l'Intelligence Artificielle [Billet]. *Éducation, numérique et recherche*. <https://doi.org/10.58079/12cac>

Draghi, M. (2024, septembre 9). EU competitiveness : Looking ahead - European Commission. Commission Européenne - European Commission. https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en

- European Commission. Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture. (2022). *Lignes directrices éthiques sur l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) et des données dans l'enseignement et l'apprentissage à l'intention des éducateurs*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/153756>
- Formet, B. (2023). *Une IA par jour*. Une IA par jour. <http://uneiaparjour.fr/>
- Frau-Meigs, D. (2024). L'autonomisation des utilisateurs grâce aux réponses apportées par l'éducation aux médias et à l'information à l'évolution de l'intelligence artificielle générative (IAG). *UNESCO Digital Library*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388547_fre
- Ganascia, J.-G. (2022, juin 10). *Intelligence artificielle et épistémologie. Allers-retours indispensables*. JECIS. <https://hal.science/hal-03760357>
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Guo, Q., Wang, M., & Wang, H. (2024). *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models : A Survey* (No. arXiv:2312.10997). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997>
- Gelin, L. (2022). *Reconnaissance automatique de la parole d'enfants apprenants-tes lecteurs-trices en salle de classe : Modelisation acoustique de phones* [Thèse, Toulouse 3]. <https://hal.science/tel-03715653v1>
- Gouvernement - Direction générale des Entreprises. (2023). *Éduquer à l'Intelligence artificielle*. Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle. <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/numerique/enjeux/developper-ecosysteme-de-talents>
- Gouvernement français. (2024). *Avec France 2030, la France positionne l'IA comme un accélérateur et un différentiateur d'innovation : Dossier de presse*. Gouvernement de la République française. <https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/10/1e3304508d16af36727cd284ced41f53f9bfd346.pdf>
- Gozalo-Brizuela, R., & Garrido-Merchan, E. C. (2023). *ChatGPT is not all you need. A State of the Art Review of large Generative AI models*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2301.04655>
- Grand lexique français de l'Intelligence artificielle*. (2021). DataFranca Wiki. <https://datafranca.org/wiki/Accueil>
- Herft, A. (2023). *Guide de l'enseignant—L'usage de ChatGPT « ce qui marche le mieux »* (A. Gagné, Trad.). <https://labua.univ-angers.fr/wp-content/uploads/2023/01/ChatGPT-Guide-de-lenseignant-FR.pdf>
- Holmes, W., Persson, J., Chounta, I.-A., Wasson, B., & Dimitrova, V. (2022). *Artificial intelligence and education—A critical view through the lens of human rights, democracy and the rule of law*. Council of Europe. <https://rm.coe.int/artificial-intelligence-and-education-a-critical-view-through-the-lens/1680a886bd>
- Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- Hsiao, S. (2023, décembre 6). *Bard gets its biggest upgrade yet with Gemini*. Google. <https://blog.google/products/bard/google-bard-try-gemini-ai/>
- IID - Institut intelligence et données, ULaval (Réalisateur). (2024, octobre 29). *L'IA générative au service de l'apprentissage : Perspectives et enjeux pédagogiques - Ange Tato* [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=sc2TpjQQHQ0>

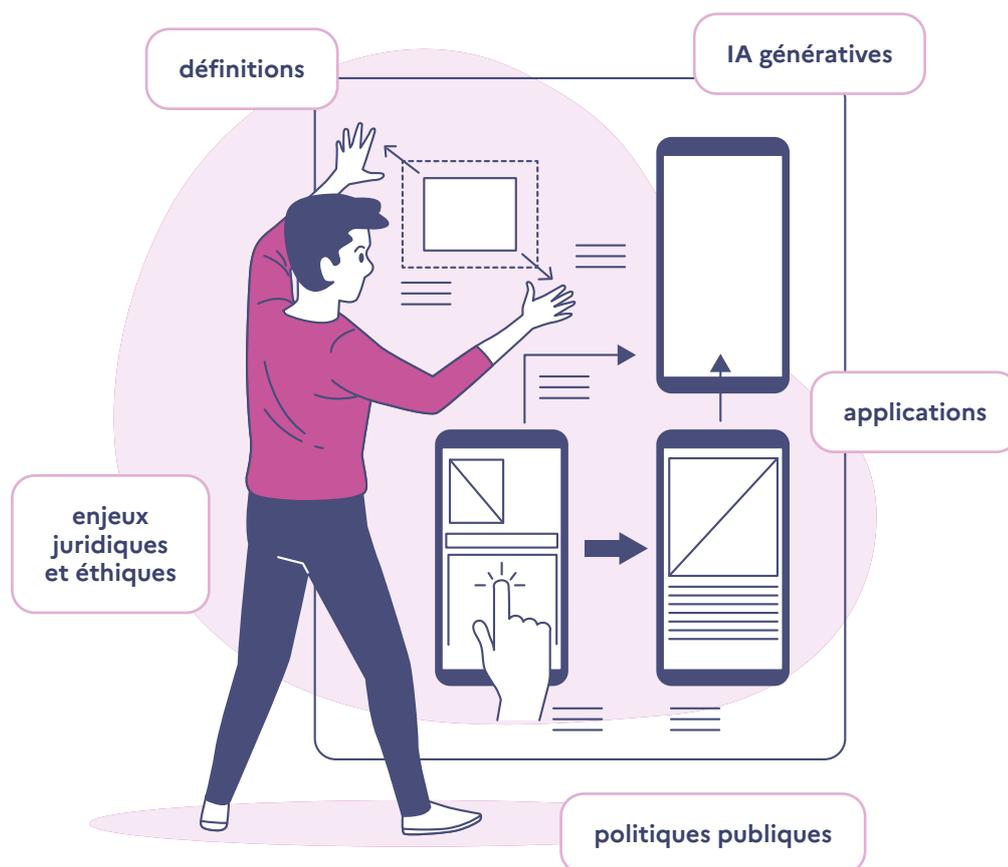
- Inria, & AI4T. (2023). *Intelligence artificielle pour et par les enseignants*. FUN MOOC. <http://www.fun-mooc.fr/fr/cours/intelligence-artificielle-pour-et-par-les-enseignants-ai4t/>
- Inria, & Class'Code. (2020). *L'Intelligence Artificielle... avec intelligence ! (MOOC)*. FUN-MOOC. <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/lintelligence-artificielle-avec-intelligence/>
- Inria Flowers (Réalisateur). (2023a, mars 8). *Comment fonctionne ChatGPT? Un tour d'horizon en moins de 5mn*. <https://www.youtube.com/watch?v=K8gOvC8gvB4>
- Inria Flowers (Réalisateur). (2023b, mars 13). *Le prompting, ou l'art de se faire comprendre par ChatGPT : Explication en 5mn*. https://www.youtube.com/watch?v=8IQ9i_QoA3A
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). *ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education*. <https://doi.org/10.35542/osf.io/5er8f>
- Khosravi, H., Shum, S. B., Chen, G., Conati, C., Gasevic, D., Kay, J., Knight, S., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., & Tsai, Y.-S. (2022). Explainable Artificial Intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>
- Langlais, P.-C. (2023, février 7). *ChatGPT : Comment ça marche ? [Billet]*. *Sciences communes*. <https://scoms.hypotheses.org/1059>
- Le Blanc, B. (2014). Alan Turing : Les machines à calculer et l'intelligence. *Hermès, La Revue*, 68(1), 123-126. <https://doi.org/10.3917/herm.068.0123>
- Le Cun, Y., Brizard, C., & Brizard, C. (2019). *Quand la machine apprend : La révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*. Odile Jacob.
- Le Cun, Y. et al. (2022, février 2023). *Yann LeCun on a vision to make AI systems learn and reason like animals and humans*. Meta AI. <https://ai.meta.com/blog/yann-lecun-advances-in-ai-research/>
- LeCun, Y. (2022). *A Path Towards Autonomous Machine Intelligence*. <https://openreview.net/pdf?id=BZ5a1r-kVsf>
- Lex Fridman (Réalisateur). (2024, mars 7). *Yann LeCun : Meta AI, Open Source, Limits of LLMs, AGI & the Future of AI | Lex Fridman Podcast #416 [Enregistrement vidéo]*. <https://www.youtube.com/watch?v=5t1vTLU7s40>
- Lepage Alexandre (Réalisateur). (2022, mars 3). *L'intelligence artificielle en éducation*. <https://www.youtube.com/watch?v=ZAAtu0xllcls>
- Lo, C. K. (2023). What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature. *Education Sciences*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Lorenz, P., Perset, K., & Berryhill, J. (2023). *Initial policy considerations for generative artificial intelligence*. OCDE. <https://doi.org/10.1787/fae2d1e6-en>
- Luccioni, S., Trevelin, B., & Mitchell, M. (2024, septembre 3). *The Environmental Impacts of AI -- Primer*. Hugging Face. <https://huggingface.co/blog/sasha/ai-environment-primer>
- Miao, F., & Cukurova, M. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104.locale=fr>

- Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO Bibliothèque Numérique. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- Miao, F., & Shiohira, K. (2024). *AI competency framework for students*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/JKJB9835>
- Ministère de l'éducation nationale. (2024). Esthétiques de l'artificiel (*Lettre d'information sur le numérique éducatif n° 24; ÉduNum Thématique*). <https://eduscol.education.fr/document/61099/download?attachment>
- OCDE. (2023, mars 28). *Is Education Losing the Race with Technology?: AI's Progress in Maths and Reading*. OCDE. <https://www.oecd.org/education/is-education-losing-the-race-with-technology-73105f99-en.htm>
- OCDE, Varsik, S., & Vosberg, L. (2024). The potential impact of Artificial Intelligence on equity and inclusion in education (*OECD Artificial Intelligence Papers 23; OECD Artificial Intelligence Papers, Vol. 23*). <https://doi.org/10.1787/15df715b-en>
- OpenAI. (2023). *GPT-4 Technical Report*. OpenAI. <https://cdn.openai.com/papers/gpt-4.pdf>
- Oregon State University, E. (2024). Bloom's Taxonomy Revisited – Artificial Intelligence Tools. *Faculty Support | Oregon State Ecampus*. <https://ecampus.oregonstate.edu/faculty/artificial-intelligence-tools/blooms-taxonomy-revisited/>
- Pierre-Yves Oudeyer (Réalisateur). (2024, février 9). Intelligence artificielle, curiosité et éducation [Enregistrement vidéo]. https://www.youtube.com/watch?v=J-p_E_lwff0
- Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education : The three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 2*, 100020. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100020>
- Parlement européen. (2023, décembre 9). *Artificial Intelligence Act: Deal on comprehensive rules for trustworthy AI*. News European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231206IPR15699/artificial-intelligence-act-deal-on-comprehensive-rules-for-trustworthy-ai>
- Pôle d'expertise de la régulation numérique. (2023). ChatGPT ou la percée des modèles d'IA conversationnels. *Gouvernement français*, 6. https://www.peren.gouv.fr/rapports/2023-04-06_Eclairage%20sur_CHATGPT_FR.pdf
- Pôle d'expertise et de régulation numérique. (2024). Open source et IA : des synergies à repenser ? *Éclairage sur...* https://www.peren.gouv.fr/rapports/2024-04-03_Eclairage%20sur_OpenSource-IA_FR.pdf
- Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12*(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8>
- Romero, M., Aloui, H., Heiser, L., Galindo, L., & Lepage, A. (2021). *Un bref parcours sur les ressources, pratiques et acteurs en IA et éducation*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03190014>
- Romero, M., Heiser, L., Lepage, A., Gagnebien, A., Bonjour, A., Lagarrigue, A., Palaude, A., Boulord, C., Gagneur, C.-A., Mercier, C., Caucheteux, C., Guidoni-Stoltz, D., Tressols, F., Alexandre, F., Céci, J.-F., Metral, J.-F., Camponovo, J., Henry, J., Fouché, L., ... Borgne, Y.-A. L. (2023). *Enseigner et apprendre à l'ère de l'intelligence artificielle : Livre blanc du G7num #Scol_IA: Vol. Livre blanc*. <https://hal.science/hal-04013223>

- Sabatou, A., Chaize, P., & Narassiguin, C. (2024). *ChatGPT, et après ? Bilan et perspectives de l'intelligence artificielle*. Sénat - OPECST. <https://www.senat.fr/salle-de-presse/dernieres-conferences-de-presse/page-de-detail-2/chatgpt-et-apres-bilan-et-perspectives-de-lintelligence-artificielle-4126.html>
- Singh, R., & Gill, S. S. (2023). Edge AI : A survey. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 71-92. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.02.004>
- Stokel-Walker, C. (2023). ChatGPT listed as author on research papers: Many scientists disapprove. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00107-z>
- Susnjak, T. (2022). *ChatGPT: The End of Online Exam Integrity?* (arXiv:2212.09292). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.09292>
- Tatot, F., & Vermot Desroches, G. (2024). Impacts de l'intelligence artificielle : Risques et opportunités pour l'environnement. Conseil économique social et environnemental. <https://www.lecese.fr/travaux-publies/impacts-de-lintelligence-artificielle-risques-et-opportunités-pour-lenvironnement>
- Thouverez, P. (2024, novembre 21). Agents autonomes : L'IA en roue libre ? *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/agents-autonomes-lia-en-roue-libre-139345/>
- Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.-A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). *LLaMA : Open and Efficient Foundation Language Models* (arXiv:2302.13971). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.13971>
- UNESCO. (2019). *Consensus de Beijing sur l'intelligence artificielle et l'éducation*. UNESCO Bibliothèque Numérique. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>
- UNESCO. (2021). *IA et éducation : Guide pour les décideurs politiques*. UNESCO Bibliothèque Numérique. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380006>
- UNESCO. (2022). *K-12 AI curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula*. UNESCO Bibliothèque Numérique. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380602>
- UNICEF. (2021, novembre). *Orientations stratégiques sur l'IA destinée aux enfants 2.0*. UNICEF. <https://www.unicef.org/globalinsight/fr/rapports/orientations-strat%C3%A9giques-sur-lia-destin%C3%A9e-aux-enfants>
- UNESCO. (2023). *Enseigner l'intelligence artificielle au primaire et au secondaire : Une cartographie des programmes validés par les gouvernements*. UNESCO Digital Library. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380602_fre
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). *Attention Is All You Need*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1706.03762>
- Wang, Z., Bi, B., Pentyala, S. K., Ramnath, K., Chaudhuri, S., Mehrotra, S., Zixu, Zhu, Mao, X.-B., Asur, S., Na, & Cheng. (2024). *A Comprehensive Survey of LLM Alignment Techniques : RLHF, RLAI, PPO, DPO and More* (No. arXiv:2407.16216). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.16216>

Référence de l'article : DNE-TN2 (2025). Intelligence artificielle et éducation : apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques : édition trilingue 2025. Éducation, numérique et recherche.

<https://edunumrech.hypotheses.org/13849>



Carnet Hypothèses

Éducation, numérique et recherche



<https://edunumrech.hypotheses.org/>

Contact



Direction du numérique pour l'éducation
(Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enseignement supérieur et de la Recherche)
Bureau du soutien à l'innovation numérique
et à la recherche appliquée (DNE TN2)

@Edu_Num

 Licence
Ouverte 2.0